

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG, SUISSE  
FACULTÉ DES SCIENCES  
DÉPARTEMENT DE MÉDECINE

En collaboration avec la  
HAUTE ÉCOLE FÉDÉRALE DE SPORTS DE MACOLIN

Effets d'un entraînement pliométrique sur la qualité des appuis,  
la vitesse de course chez des footballeurs amateurs

Travail final pour l'obtention du Master en  
Sciences du Mouvement et du sport  
Option Enseignement

Conseiller: Dr. Didier STAUDENMANN  
Co-conseiller-ère: Alain ROUVENAZ

*Stéphane BARILLI*  
*Fribourg, Mai, 2015*

## Table des matières

1. Résumé .....	4
2. Introduction .....	5
2.1. Introduction à la thématique .....	5
2.2. But, question de recherche et hypothèses .....	11
3. Méthode .....	12
3.1. Sujets / groupes.....	12
3.2. Déroulement .....	13
3.2.1. Tests.....	13
3.2.2. Entraînement.....	15
3.3. Instruments utilisés .....	20
3.4. Analyse .....	21
3.5. Statistiques.....	24
4. Résultats .....	25
4.1. Courses.....	25
4.1.1. Accélération 0-10m .....	25
4.1.2. Vitesse maximale 30-40m.....	26
4.1.3. Test d'agilité .....	27
4.2. Qualité des appuis.....	28
4.2.1. Temps de contact au sol .....	28
4.2.2. Force .....	30
4.2.3. Temps au pic de force.....	31
4.2.4. Ratio Force/Temps .....	32

5. Discussion et conclusion .....	34
5.1. Vitesse et agilité .....	34
5.2. Qualité des appuis.....	37
5.3. Points forts et limitations .....	39
5.4. Perspectives de nouvelles questions de recherche.....	41
5.5. Conclusion .....	41
6. Bibliographie .....	43
6.1. Livres .....	43
6.2. Revues littéraires.....	43
6.3. Scripts de Hautes Ecoles.....	45
7. Remerciements.....	47

## 1. Résumé

La pliométrie est une méthode d'entraînement améliorant la vitesse et la force d'un groupe musculaire. Dans le cadre du football, il a été prouvé que cette méthode permet d'améliorer les vitesses de sprint et d'agilité. Le but de cette étude était d'observer si un entraînement pliométrique intensif de cinq semaines permettait d'améliorer la qualité des appuis et les temps de courses. 28 joueurs de football évoluant en ligue amateur ont été répartis dans un groupe *Control*, dont les habitudes sportives ne changeaient pas, ou un groupe *Test* qui a été astreint à un entraînement pliométrique de cinq semaines à raison de deux à trois entraînements hebdomadaires. Le test servant à mesurer la qualité des appuis (force, temps de contact, temps au pic de force, ratio force/temps) a été exécuté au moyen d'une plaque de force. Il était pour cela demandé aux sujets d'exécuter un exercice de skipping sur la plaque, en élevant le genou à hauteur de hanche à chaque pas. Les tests déterminant les vitesses de courses sur les intervalles 0-10m, 30-40m ainsi que sur un parcours d'agilité ont été effectués au moyen de cellules photoélectriques. Tous ces tests ont été effectués une fois avant la période d'entraînement et une nouvelle fois après. Suite à l'entraînement, le groupe *Test* a montré des améliorations significatives sur les temps de courses. Le temps 0-10m a été amélioré de l'ordre de 1.64% ( $p=0.000$ ), le temps entre 30 et 40m de 1.70% ( $p=0.007$ ), et le test d'agilité de 0.62% ( $p=0.025$ ). Tous les résultats relatifs à la qualité des appuis présentaient également des améliorations, mais celles-ci étaient non-significatives. Le temps de contact au sol s'est améliorée de 1.40% ( $p=0.420$ ), la force de 2.67% ( $p=0.593$ ), le temps au pic de force de 4.61% ( $p=0.564$ ) et le ratio force/temps de 32.68% ( $p=0.387$ ). Un programme d'entraînement pliométrique permet donc d'améliorer significativement les vitesses de courses chez des footballeurs amateurs. D'un autre côté, ce programme n'a pas permis d'améliorer la qualité des appuis. Cela peut être dû à la nature de l'exercice de skipping. Cet exercice pourrait ne pas être adapté à une population de footballeur, pour qui ce mouvement ne serait pas naturel.

## 2. Introduction

### 2.1. Introduction à la thématique

La pliométrie est un régime de contraction musculaire qui a fait son apparition dans le monde sportif dans les années 1960. C'est en 1966 que Verkhoshansky (Cometti, 2012), un entraîneur et physiologiste russe, développa cette méthode comme entraînement pour des triple-sauteurs. Il observa chez ces athlètes un temps de contact au sol court et de grandes tensions musculaires lors de sauts. Il remarqua également l'importance de la phase d'amortissement, notant qu'une force excentrique supérieure permettait une meilleure tension lors de cette phase. Il proposa un travail en trois étapes : développement de force, travail de pliométrie, travail de réactivité grâce à des exercices de pliométrie plus intenses. Il introduisit l'année suivante des sauts en contrebass. Cette méthode d'entraînement, dont les résultats convaincants l'ont rendu célèbre dans le monde sportif, s'est vite répandue dans le monde grâce à son succès. Elle s'est développée au cours des années et est désormais utilisée dans divers domaines sportifs. Aujourd'hui, on considère que le travail pliométrique est une méthode d'entraînement spécifique dont le but est d'améliorer la vitesse et la puissance d'un muscle. Cette méthode est définie en ces termes par Gilles Cometti (2004) : « On parle d'une action musculaire pliométrique lorsqu'un muscle qui se trouve dans un état de tension est d'abord soumis à un allongement (on parle d'une phase excentrique) et qu'ensuite il se contracte en se raccourcissant (on parle alors de phase concentrique) ».

Une action pliométrique est donc un enchaînement très rapide d'un mouvement excentrique, suivi immédiatement d'un mouvement concentrique. En règle générale, cette méthode utilise principalement le poids du corps comme outil. L'amélioration de la vitesse et de la force d'un muscle lui permet donc de pouvoir fournir plus de force dans un laps de temps égal, ou inférieur, par rapport à un muscle non-entraîné. La puissance du muscle s'améliore donc car il est capable de fournir un maximum de force en un minimum de temps.

En parlant de force, Hollman et Hettinger (2000) la divisent en quatre : une zone de force employée pour les mouvements communs (15%), une zone physiologique utilisée sous condition d'activité motrice élevée (20%), une réserve spéciale mobilisée dans les conditions de grande intensité ou de longue durée (35%) et une réserve « interdite » mobilisée

uniquement en conditions extrêmes (30%) (Dufour, 2009). Il explique ensuite que les deux dernières zones de forces sont protégées par notre conscience. En tant que personnes, notre système nerveux central crée un mécanisme d'inhibition, nous empêchant de pouvoir développer le maximum de notre force « animale ». En condition de stress toutefois, l'organisme autorise au corps l'accès à ces réserves spéciales. La charge pliométrique induit au système musculaire un stress identique et permet « d'infiltrer » les réserves de force protégées. Un tel entraînement permet donc au corps de développer une force supérieure à la normale.

La pliométrie ne se résume néanmoins pas à un simple enchaînement de contractions comme vu précédemment. Certaines caractéristiques doivent être présentes afin de pouvoir définir une contraction comme pliométrique : l'enchaînement immédiat d'une contraction excentrique à une contraction concentrique. Cet enchaînement correspond au cycle étirement-raccourcissement. (Cometti, 2004). Cometti explique que celui-ci requiert trois conditions : avoir une bonne pré-activation des muscles avant la phase excentrique, que celle-ci soit courte et rapide (<200ms), et que la transition entre la phase d'étirement et de raccourcissement soit immédiate. Cometti (2012) et Dufour (2009) constatent que l'activité musculaire est plus importante lors d'un exercice pliométrique que lors d'un exercice de force maximale. La force produite par un exercice de type pliométrique est également supérieure à celle produite lors d'une contraction maximale isométrique. Cela confirme ce que Hollman et Hettinger suggéraient précédemment à propos des zones de force. Cometti suggère que cette production supérieure de force en pliométrie est due à trois facteurs :

- L'intervention de facteurs nerveux : divers facteurs nerveux interviennent lors d'efforts explosifs. Les fibres musculaires sont normalement recrutées selon un ordre : d'abord les fibres lentes, puis les fibres rapides. Le recrutement de fibres lentes n'est pas utile lors d'un effort explosif. Lors d'un tel effort, les unités motrices peuvent être recrutées plus rapidement ; elles atteignent donc plus vite leur force maximale. L'augmentation de la fréquence maximale de décharge des unités motrices est une autre amélioration provoquée par un entraînement dynamique. L'augmentation de la fréquence est non seulement générale mais se fait

principalement en début de contraction. Un troisième facteur nerveux est l'augmentation de « doublets », qui sont des impulsions très rapprochées.

De plus, l'entraînement dynamique permet également une meilleure synchronisation des unités motrices, ce qui signifie qu'un plus grand nombre d'unités motrices peuvent être stimulées simultanément.

Tous ces mécanismes nerveux réunis entraînent une augmentation du force rate (N/s), donc une augmentation de la vitesse de contraction musculaire.

- La propriété élastique du muscle : Les propriétés élastiques du muscle expliquent quant à elles l'augmentation de la force constatée lors d'exercices pliométriques. Le système tendon-muscle, mais par-dessus tout son élasticité, sont responsables de ce gain. Au niveau du muscle, on attribue le gain de force aux ponts actine-myosine ainsi qu'à la titine. Le nombre de ponts serait, lors d'un mouvement excentrique, 1.8x supérieur à celui observé lors d'une contraction isométrique. De plus, chaque pont fonctionnerait plus efficacement en excentrique. Huxley & Simmons (1971) de part leur modélisation des ponts, avançaient une élasticité des ponts, qui permettrait de restituer l'énergie emmagasinée lors de la phase excentrique.

La titine est une protéine musculaire dont la fonction est de ramener le sarcomère dans sa position de base après un étirement. Elle serait responsable, selon plusieurs études, d'une production de force lors de la phase excentrique et optimiserait le cycle étirement-raccourcissement.

Des études avancées par Fukunaga et Kawakami (1996) ont démontré que le tendon jouait également un rôle important dans l'élasticité générale du muscle. En effet, lors d'un exercice de pliométrie, ces chercheurs ont remarqué que le muscle en lui-même travaillait en isométrique alors que le tendon, lui, s'allongeait. Selon Fukunaga (1996) toujours, « sur un drop-jump pendant la phase excentrique, 66% du travail est effectué par le tendon et les 34% restants sont dus à la contraction musculaire. Pendant la phase de renvoi, 76% du travail est dû à la restitution d'énergie par les tendons ». La force est donc emmagasinée en grande majorité dans les structures tendineuses et est restituée par celles-ci lors d'efforts explosifs.

- L'intervention du réflexe d'étirement : en 1986, Schmidbleicher distinguait deux sortes de CER. Il les classa selon leur durée. Le CER lent, dont la durée d'activation est comprise entre 300 et 500 millisecondes. Il requiert un mouvement ample des articulations utilisées. Sportivement parlant, les CER lents se retrouvent dans les sauts et les impulsions verticales dans des sports tels que le basket ou le volley. Ce genre de sauts est similaire à un Counter Movement Jump. Le CER rapide est caractérisé par un temps de contact au sol très court, entre 100 et 200 millisecondes. On retrouve dans cette catégorie de CER : la course, les sauts explosifs ou encore les bondissements. Un mouvement de CER rapide typique serait le Drop Jump. Le réflexe d'étirement est la contraction involontaire d'un muscle suite à son étirement. Lors d'un allongement rapide d'un muscle, les mécanorécepteurs envoient un signal à la moelle, qui envoie à son tour un signal de contraction de l'agoniste, et d'inhibition de l'antagoniste. C'est un réflexe monosynaptique (qui ne requiert qu'une seule synapse) dont le délai entre l'étirement et la production de force en guise de réponse est d'approximativement 50 à 55ms selon Cometti (2012). Lors d'un CER rapide dont le temps de contact au sol n'excède pas 200ms, le réflexe d'étirement joue un rôle de pré-activateur musculaire et maintient la raideur du muscle cible. De plus, l'activité réflexe s'ajoute à la pré-activation musculaire pour une meilleure phase concentrique.

Ce sont ces trois facteurs clé qui, travaillant indépendamment les uns des autres mais dont les effets s'unissent vers un même but, permettraient une production de force supérieure lors d'efforts pliométriques.

Les sauts, les sautilllements et la course sont de parfaits exemples de mouvements induisant un cycle étirement-raccourcissement. Komi (2011) affirmait que le CER est un moyen naturel de combiner force concentrique, structures élastiques ainsi que l'activation centrale et réflexe. Cette combinaison a pour effet d'optimiser le pic de force et l'économie de mouvement. Lui aussi ajoutait, à l'instar de Cometti auparavant, que trois conditions devaient être présentes pour qu'un CER soit effectif : a) une pré-activation musculaire adéquate avant la phase excentrique b) une phase excentrique courte et rapide et c) une transition immédiate entre l'étirement et le raccourcissement. L'activation du CER se



retrouve lors d'efforts comme les bonds ou la course. Ces actions contiennent les phases nécessaires du CER. Il ajoutait également que l'essentiel de la force venait du système muscle-tendon, ce qui va de pair avec l'affirmation de Cometti expliquée auparavant.

De plus, Markovic & Mikulic (2010) ajoutaient qu'un entraînement pliométrique améliorait les capacités musculaires de force, de puissance et de CER. Ces adaptations sont dues selon leur étude à :

- a) une réponse neurale agoniste améliorée
- b) des changements dans la stratégie d'activation musculaire (ex : coordination intermusculaire améliorée)
- c) des changements dans les caractéristiques mécaniques du système muscle-tendon du fléchisseur plantaire
- d) des changements de taille et/ou d'architecture du muscle
- e) des changements dans la mécanique des fibres. Tous ces changements permettraient l'amélioration de capacités sportives tels que les sauts, les sprints, l'agilité ou encore l'endurance.

Dufour (2009) émet néanmoins des réserves quant aux effets de la pliométrie. Il estime qu'en dehors de la famille des sauts, les effets de la pliométrie ne peuvent pas être clairement prouvés, faute de résultats clairs. Il met en avant le fait que le temps de contact au sol est plus long lors d'un drop jump que lors d'un appui de course. Des doutes seraient donc émis quant aux gains d'un travail pliométrique sur la vitesse maximale. Quoiqu'il en soit, bien qu'il soit très difficile d'améliorer la vitesse d'un athlète en comparaison à sa force, celle-ci reste malgré tout entraînable, à condition de la travailler sur la base d'un programme d'entraînement spécifique.

Des études effectuées ces dernières années ont démontré les bénéfices d'un entraînement pliométrique sur des sports collectifs (Yap & Brown, 2000). Une étude de Miller et al. (2006) a par exemple démontré que l'entraînement pliométrique augmentait l'agilité de sportifs, et ce en utilisant des tests impliquant des courses avec des changements de directions tels que l'Illinois Agility Test et le T-Test. Après 6 semaines d'entraînement, les athlètes ont amélioré leur temps de course d'une demie seconde environ pour les tests d'agilité. D'autres études

se sont focalisées sur les effets d'un tel entraînement sur des footballeurs. Ce sport exige une rapidité de mouvements et de réaction, ainsi qu'une bonne explosivité.

Une étude de Chelly et al. (2010) mettait en avant des données concernant le football. Il expliquait que, durant un match de foot, un sprint de 2 à 4 secondes arrive toutes les 90 secondes ; 3% du temps d'un match sont faits de sprints et correspondent à 1 à 11% de la distance courue. Il est dit également que 96% des sprints sont d'une longueur inférieure à 30m et que 49% des sprints font moins de 10m. L'explosivité est donc un domaine qui doit être développé chez des footballeurs si ceux-ci souhaitent être performants sur un terrain. Dans le cadre d'une étude faite par Vaczy et al. (2013), il est dit que les résultats des différents tests pratiqués sur des footballeurs « élite » sont souvent contradictoires. Il est entendu par « élites », des joueurs s'entraînant une à plusieurs fois par jour. Certains notent une amélioration de sauts tandis que d'autres démontrent une amélioration de mesures dynamiques, et non de sauts. Ils attribuaient ces incohérences à différents facteurs tels que le genre, les méthodes de tests, les appareils utilisés, ainsi qu'aux différences de durée, d'intensité et de type d'exercices utilisés durant la phase d'entraînement. Une étude faite par Ramirez-Campillo et al. en 2014 a également démontré des améliorations d'explosivité chez des jeunes footballeurs (13 ans) suite à un entraînement pliométrique.

D'autres recherches telles que celle de Chelly et al. (2010) se sont penchées sur les effets d'un entraînement pliométrique sur la puissance des jambes, les sauts et le sprint. L'étude a démontré des améliorations de puissance, une augmentation de la fréquence maximale de pédalage, des améliorations de puissance et de hauteur lors de Squat Jump et Counter Movement Jump et une amélioration de la vitesse de course rectiligne. Chelly soulignait toutefois également le manque de données concernant l'efficacité des programmes pliométriques ainsi que les résultats contradictoires qui en sortaient.

Force est donc de constater, suite aux conclusions de ces études, que la pliométrie a des effets bénéfiques sur l'agilité de course et sur l'explosivité en général. Les études effectuées démontrent qu'un entraînement pliométrique peut engendrer différents effets sur les capacités sportives, malgré les réserves émises par Dufour.

Peu d'informations sont par contre fournies sur les effets de la pliométrie sur les forces de réaction au sol ainsi que sur la fréquence des pas. Une étude effectuée en 2012 (Wong) sur

des footballeurs professionnels a démontré que des exercices pliométriques précis pouvaient augmenter le pic de force, la vitesse au pic de force, et diminuer le temps de contact au sol. Ces chercheurs avançaient, de par leurs résultats, que la pliométrie permettrait d'augmenter la fréquence des pas et la force des jambes. Aussi, une majeure partie des études qui ont été faites testait des joueurs professionnels ou du moins des joueurs faisant partie de l'élite. On ne trouve que très peu d'études consacrées à l'observation de l'efficacité d'un programme pliométrique sur des sportifs amateurs.

Cette étude entrerait donc dans la continuité de celle effectuée par Wong et permettrait de vérifier leurs résultats par rapport aux forces et de tester leur hypothèse par rapport à la fréquence des pas. De plus, cela permettrait de vérifier si ces deux paramètres sont impliqués dans les différentes vitesses de course.

De plus, ce travail pourrait apporter d'autres données sur l'application de programmes d'entraînement spécifiques de pliométrie chez des sportifs amateurs. Un travail de recherche sur une telle population permettrait d'étoffer les données à leur sujet et de voir si un tel programme est adaptable au sein d'équipes amateurs dont les joueurs sont d'âges très différents.

## **2.2. But, question de recherche et hypothèses**

Le but de ce travail sera de définir dans un premier temps si un entraînement intensif de pliométrie de cinq semaines améliore les forces de réaction au sol et la vitesse des pas chez des footballeurs amateurs. Deuxièmement, il nous sera permis d'observer si différentes valeurs mesurées sur une course de sprint (accélération 0-10m, vitesse max 30-40m) peuvent également être améliorées consécutivement à un entraînement pliométrique. Un test avec des changements de directions sera également effectué afin de vérifier si l'agilité de course est également un facteur améliorable.

Durant la phase test, les valeurs de base des sujets seront récoltées et seront comparées aux valeurs finales des mêmes sujets après cinq semaines d'entraînement pliométrique intensif. Les questions qui devront trouver réponses d'ici la fin de ce travail sont donc les suivantes :

- Un entraînement pliométrique intensif de cinq semaines améliore-t-il la vitesse des pas et les forces de réaction au sol ? Dans quelles mesures ?
- Ces améliorations ont-elles une influence sur la vitesse de démarrage 0-10m ? Sur la vitesse maximale 30-40m ? Sur un test d'agilité?

### 3. Méthode

#### 3.1. Sujets / groupes

Vingt-huit sujets ont été recrutés dans le cadre de cette étude. Tous les sujets sont des sportifs pratiquant du football en ligue amateur. La majorité des joueurs ont été recrutés au sein de la même équipe, afin qu'ils aient tous le même bagage physique. Le reste des sujets a été recruté au sein d'équipes concourant dans la même ligue ou dans une équipe de ligue inférieure, mais étant en haut de classement. Ainsi, tous les participants devraient se trouver sur un pied d'égalité concernant la condition physique que requiert le football. Il semble en effet cohérent de penser que les sollicitations physiques sont les mêmes durant les entraînements de différentes équipes concourant au sein d'une même ligue. Les caractéristiques de la totalité des sujets étaient les suivantes (moyenne  $\pm$  écart-type) : âge  $23.2 \pm 3.9$  ans, taille  $181 \pm 6$  cm, poids  $74.9 \pm 8.6$  kg.

Les sujets ont ensuite été répartis dans deux groupes : un groupe *Control*, qui comptait 15 personnes et un group *Test* qui comptait 13 personnes. Un T-Test à échantillons indépendants a été effectué afin de déceler des différences significatives entre les groupes. La *p*-value a été fixée à 0.05. Les résultats sont les suivants : âge 0.031, taille 0.78, poids 0.68. La répartition de ces deux groupes était la suivante :

Tab. 1: Nombre et données physiologiques de chaque groupe

Groupe	Nombre	Age (années)*	Taille(m)	Poids (Kg)
<b>Control</b>	15	$25 \pm 3$	$1.81 \pm 0.06$	$75.3 \pm 8.5$
<b>Test</b>	13	$22 \pm 4$	$1.80 \pm 0.06$	$75.6 \pm 9.7$

\* = différence significative entre les groupes

Il n'y a donc pas de différences significatives entre les deux groupes.

Tous les sujets recrutés ont au moins 18 ans, ne souffrent d'aucune lésion ou blessure et ont accepté de ne pas changer leur routine sportive durant cette étude. En prenant comme sujets des joueurs de ligue amateur, une grande différence d'âge entre les sujets était attendue. L'âge des sujets variait effectivement entre 18 et 29 ans. Cela permettra ainsi d'observer si au sein d'un groupe hétérogène, un entraînement spécifique a une influence sur tous les participants.

### 3.2. Déroulement

Cette étude est composée de deux sessions de tests (pré- et post-entraînement) et d'un entraînement intensif de pliométrie. Le groupe *Control* effectuera uniquement les tests d'entrée et de sortie alors que le groupe *Test* sera astreint à un entraînement de pliométrie de 5 semaines entre les tests. Les valeurs obtenues lors des pré- et post-tests seront analysées et comparées dans le but de vérifier l'impact d'un entraînement sur les performances.

#### 3.2.1. Tests

Les sujets ont effectué trois tests qui ont permis de récolter des données sur la qualité des appuis, le temps de course sur un trajet rectiligne et un temps de course dite d'« agilité ».

#### *Qualité des appuis*

La qualité des appuis a été mesurée par une plate-forme de force. Des explications orales ainsi qu'une démonstration étaient données à chaque participant avant qu'ils ne fassent le test. De plus, un essai a été donné à chaque sujet afin qu'ils se familiarisent avec le protocole. Il était demandé à chaque participant d'exécuter un skipping sur la plaque à vitesse maximale, avec comme contrainte de lever à chaque pas le genou à hauteur de hanche. Chaque participant n'était soumis qu'à un seul essai, à condition que celui-ci ait été conforme au protocole. Chaque sujet a donc été filmé dans le but de pouvoir vérifier que les conditions d'exécution étaient conformes. Cette prise de mesure permettra par la suite de pouvoir extraire la force au sol lors de chaque pas, ainsi que le temps de contact avec le sol.

Deux autres données qui seront également utilisées dans ce travail sont : le temps que mettent les sujets à atteindre la force au sol maximale (temps au pic de force), le ratio force/milliseconde lors de l'appui.

### *Vitesses de course*

Le test qui a permis de mesurer les vitesses 0-10m et 30-40m s'est fait au moyen de cellules photoélectriques disposées en ligne droite aux distances souhaitées. Les sujets devaient effectuer une course droite le plus rapidement possible. Une ligne de départ était placée au sol, 20cm devant la première cellule photoélectrique. Il a été demandé aux sujets de démarrer leur course en étant arrêté, avec un pied sur la ligne. Le protocole était ainsi le même pour tous les participants. Les cellules photoélectriques ont donc permis de prendre le temps des sujets sur les dix premiers mètres, ainsi que dans l'intervalle entre 30 et 40m. Les temps fournis par le chronomètre étaient directement recopiés sur une grille. Il a été demandé aux sujets de faire deux essais et le meilleur résultat a été retenu pour l'étude. Le temps de repos entre chaque essai était d'une minute et trente secondes.

### *Agilité*

Le dernier test effectué était le test de course avec changements de directions. Les cellules photoélectriques ont été disposées au début et à la fin du parcours, à des distances précises, afin de permettre la mesure du temps de parcours. Le départ se faisait également arrêté. Le design de ce test était le suivant :

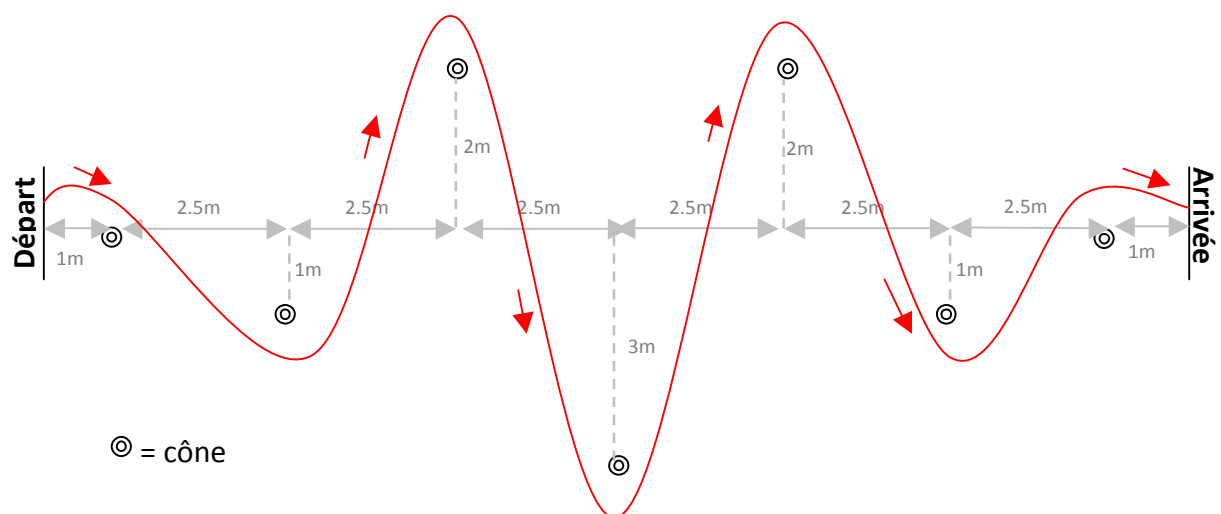


Fig. 1 : Vu aérienne du parcours d'agilité avec les différentes distances. Le trait rouge indique le parcours effectué par les sujets.

Chaque sujet était soumis à deux essais, avec un temps de récupération de 2 minutes entre les essais. Le meilleur temps a été retenu

Afin de préparer les sujets aux sollicitations des tests et d'éviter les blessures, chaque sujet a été astreint à un échauffement avant le début des tests. Celui-ci était composé de cinq minutes de course à allure moyenne, suivi de cinq minutes d'exercices de stretching dynamique : marcher en amenant le genou à la poitrine (10x), lunges (10x), demi-squat (10x), flexion/extension hanche (10x) et extension de la cheville (20X). Deux courses de 20m à 70% de la vitesse maximale clôturaient l'échauffement.

### **3.2.2. Entraînement**

Le programme d'entraînement a duré cinq semaines. Il comportait trois séances hebdomadaires sur les deux premières semaines et deux séances lors des trois dernières semaines, afin que les principes d'entraînements soient respectés et que l'intensité soit croissante.

En conformité avec les principes d'intensité des charges, les entraînements étaient principalement composés de pliométrie à intensité basse en début de programme. Plus le programme avançait, plus des exercices de pliométrie moyenne étaient utilisés. Selon Cometti (2012), un programme doit comporter deux à trois exercices et varier en intensité. L'intensité était donc croissante, mais le volume décroissant.

La première semaine était composée de sauts horizontaux afin d'habituer l'organisme aux sollicitations pliométriques. Dès la deuxième semaine, des exercices de sauts verticaux ont été introduits. Afin que l'intensité soit croissante, la hauteur de départ des exercices comportant des sauts en contrebas était dans un premier temps faible, afin d'atténuer le choc excentrique et d'habituer le corps à ce type d'exercice. Le programme avançant, la hauteur de départ s'est élevée afin que les sollicitations physiologiques soient maximales.

Pour en revenir à l'affirmation de Schmidbleicher concernant les différents cycles étirement-raccourcissement, le Drop Jump correspond à un mouvement de CER rapide et se retrouve particulièrement dans la course. Cet exercice sera donc parfait pour entraîner ce type de CER et pour avoir, suite à l'entraînement, des répercussions sur la vitesse de course. De plus, il est selon Dufour (2009) l'exercice par excellence pour développer la pliométrie.

Ces raisons ont donc été décisives dans le choix du Drop Jump comme exercice principal du programme d'entraînement établi. Malgré tout, Dufour (2009) définit également le Drop Jump comme l'exercice le plus intense ; il a donc été placé en fin de programme et avec un volume de charge croissant afin de laisser le corps s'habituer aux sollicitations de ce genre d'entraînement. Au sein même de chaque semaine, le volume de chaque exercice était adapté afin d'augmenter progressivement l'intensité.

Durant chaque entraînement, tous les sujets ont été supervisés et recevaient des consignes quant à la bonne exécution de chaque exercice. La priorité de chaque exercice était de minimiser le temps de contact au sol. Tous les exercices comportant un saut en contrebas ont été effectués avec les mains sur les hanches.

Le contenu général des entraînements était le suivant :

Tab. 2: Programme d'entraînement établi

Semaines	Nbre de contacts au sol	Exercices	Séries x répétitions
<b>1</b>	236	Skipping	10 x 10
		Sauts de cerceaux	10 x 10
		Long jumps	6 x 6
<b>2</b>	196	Skipping	10 x 10
		Haies hautes	10 x 6
		Caisson – sol – caisson (30cm)	6 x 6
<b>3</b>	132	Saut de cerceaux	6 x 10
		Caisson – sol – caisson (40cm)	10 x 6
		Drop jumps (30cm)	2 x 6
<b>4</b>	78	Caisson – sol – caisson (40cm)	10 x 6
		Drop jumps (40cm)	3 x 6
<b>5</b>	60	Drop jumps (20cm)	2 x 10
		Drop jumps (40cm)	2 x 10
		Drop jumps (60cm)	2 x 10

Description des exercices :

- Skippings : la consigne était de minimiser le temps de contact au sol, et de monter à chaque fois le plus rapidement possible le genou à hauteur de hanche.



- Saut de cerceaux pieds joints : cet exercice devait à nouveau se faire avec un temps de contact au sol réduit, ainsi qu'avec une recherche de hauteur à chaque rebond.
- Long jump : cet exercice consiste en une tentative de saut pieds joints le plus loin possible. La seule consigne donnée était de sauter avec les pieds écartés à hauteur d'épaule.
- Haies hautes : passage de haies en sautant pieds joints. La consigne était d'effectuer le saut avec un contact au sol réduit, et de rebondir le plus haut possible.
- Caisson – sol – caisson : cet exercice comportait un saut en contrebas depuis un caisson. Les sujets devaient rebondir de manière explosive pour atterrir sur le caisson suivant, jambes tendues. La consigne était à nouveau un temps de contact au sol réduit au minimum. La hauteur du caisson était de 30cm et l'espace entre eux de 1m.
- Drop Jumps : exercice qui consiste en un saut en contrebas, suivi d'un contact au sol le plus court possible dans le but d'effectuer un rebond le plus haut possible. La consigne était de minimiser le temps de contact au sol et de rebondir le plus haut possible. La hauteur de départ était de 40cm

Avant chaque séance, les sujets étaient astreints à un échauffement de dix minutes dans le but de préparer le corps aux sollicitations de l'entraînement et d'éviter les blessures. Cet échauffement était composé de cinq minutes de jogging, suivi de cinq minutes d'exercices de stretching dynamique : marcher en amenant le genou à la poitrine (10x), lunges (10x), demi-squat (10x), flexion/extension hanche (10x) et extension de la cheville (20X). Deux courses de 20m à 70% de la vitesse maximale clôturaient l'échauffement.

Afin d'être tenu constamment au courant de la fatigue musculaire des sujets, il leur a été demandé de donner un feedback par message électronique de leur état musculaire deux jours après l'entraînement vers midi. Les sujets devaient pour cela effectuer 10 squats et quantifier leur fatigue musculaire sur une échelle de 1 à 10 (1 signifiait « pas de douleur » et 10 « grandes douleurs »).

Le but de ce feedback était de pouvoir modifier les séances suivantes selon la fatigue ressentie. Cela permet au corps de continuer son travail tout en le ménageant dans le but d'éviter les blessures. Si les sujets présentaient une fatigue commune, le volume de charge aurait été réduit pour la séance d'après. Aucun changement d'exercice n'a été effectué afin

de diminuer l'intensité en cours de programme. En cas de fatigue, l'intensité des exercices doit rester la même mais le volume de l'entraînement doit être diminué.

Le contenu spécifique des entraînements semaine par semaine est décrit ci-dessous :

Tab. 3: *Programme des entraînements semaine par semaine, feed-back des douleurs et modifications*

Semaines	Programme Prévu	Feed-back douleurs	Programme effectué
1	10X10 Skippings		Mardi
	10X10 Sauts de cerceaux	7	Jeudi
	6X6 Long jumps	4	Samedi
2	10X10 Skippings	2	Mardi
	10X6 Haies hautes	3	Jeudi
	6X6 Caisson – sol – caisson (40cm)	3	Samedi
3	6X10 Sauts de cerceaux	2	Mardi
	10X6 Caisson – sol – caisson (40cm)		
	2X6 Drop jumps (30cm)	2	Samedi
4	10X6 Caisson – sol – caisson (40cm)	2	Mardi
	3X6 Drop jumps		
5			
	2X10 Drop jumps (20cm)	1	Mardi
	2X10 Drop jumps (40cm)		
	2X10 Drop jumps (60cm)	1	samedi

Semaine 6 :

- lundi : un dernier entraînement supplémentaire a été effectué afin de respecter le temps optimal de repos entre le dernier entraînement et la séance de test finaux. Etant donné que les tests se déroulent le dimanche, le nombre de jours de repos (=6) est optimal. Cet entraînement comportait :
  - 2 X 10 drop jumps (20cm)
  - 2 X 10 drop jumps (40cm)
  - 2 X 10 drop jumps (60cm)

### 3.3. Instruments utilisés

Cette étude nécessitait deux instruments de mesures ; une plaque de force a été utilisée pour la prise de mesures de la qualité des appuis tandis que les mesures des temps de courses ont nécessité l'utilisation de cellules photoélectriques.

La plaque de force (AMTI, modèle OR6-7) a permis de mesurer les forces de réaction au sol. C'est une plate-forme tridimensionnelle, cela signifie qu'elle mesure les forces exercées sur trois axes X, Y et Z. La surface de travail de cette plate-forme est soutenue par des éléments de détection cylindrique à paroi mince. Lors d'une application de force sur la plaque, les jauges de pressions se déforment et provoquent un changement de voltage. Les jauges de pression isolent les signaux provoqués par des forces et des moments particuliers, leur permettant d'être quantifiés avec précision et séparément.

Dans le cadre de ce travail, seul la direction verticale a été prise en compte car la force appliquée verticalement était la seule à être analysée. De plus, l'appareil a été calibré à 1000 Hertz. Cela signifie qu'il enregistre 1000 mesures par secondes. Comme le skipping induisait un temps de contact au sol très court, ce paramétrage a permis de capturer la dynamique de la courbe de façon claire pour être analysée plus précisément.

Des cellules photoélectriques (Brower Timing TC-System) ont été utilisées afin de mesurer les temps sur l'accélération 0-10m, la vitesse maximale 30-40m et le test d'agilité. Pour cela, les cellules ont été placées aux distances souhaitées. Ces cellules, placées l'une en face de l'autre, sont sensibles à tous changement lumineux ayant lieu entre elles. Placées les une

après les autres, elles permettent dans le cadre de ces tests un chronométrage précis et simple d'utilisation des temps des différentes épreuves.

### 3.4. Analyse

Les données obtenues grâce à la plaque de force ont été analysées par un programme informatique utilisant le programme Matlab (Mathworks, version R2012b). Ce programme est utilisé pour traiter des données numériques, les analyser et les visualiser<sup>1</sup>. Dans le cadre de cette étude, il servira à extraire des informations de la force verticale, dont la figure 2 ci-dessous est un exemple.

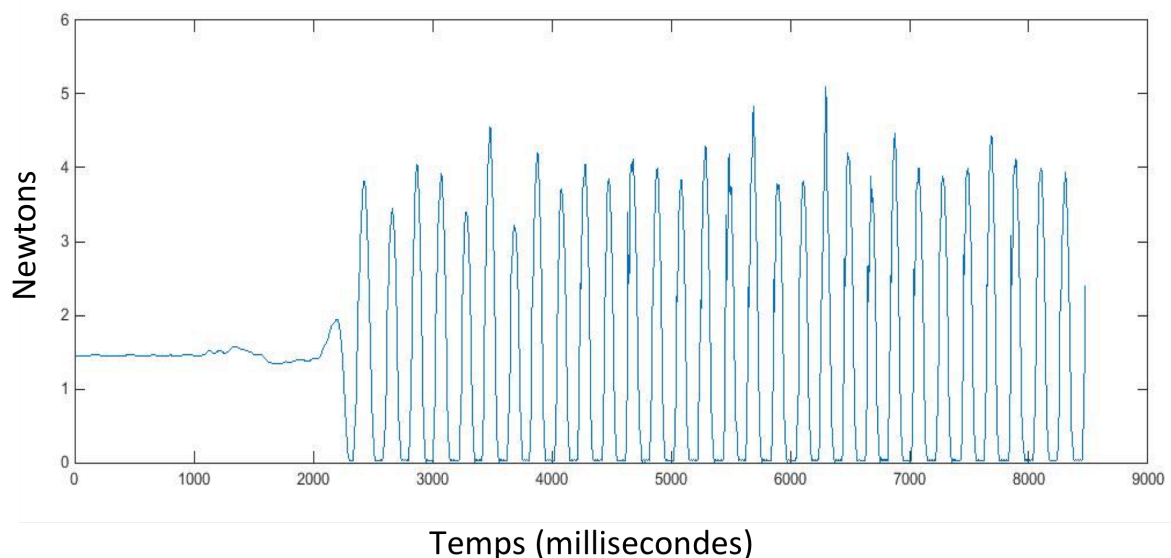


Fig. 2: Un exemple de la force verticale d'une personne effectuant un exercice de skipping pour un total de 31 pas.

Les montées de la courbe représentent la pression appliquée lors de chaque pas de l'exercice de skipping. La recherche de cette étude visait à observer le pas le plus rapide effectué au sol. Dans le cadre des analyses, seuls les quatre derniers pas avant le pas le plus rapide, celui-ci compris, ont été analysés.

Dès lors, ce graphique permet, grâce à Matlab, de fournir les données des quatre mesures importantes pour cette étude. La figure suivante montre comment ces mesures ont été calculées. La courbe noire est la représentation d'un appui au sol. Les quatre mesures suivantes ont été prises lors de chaque appui.

<sup>1</sup> <http://fr.mathworks.com/products/matlab/features.html>

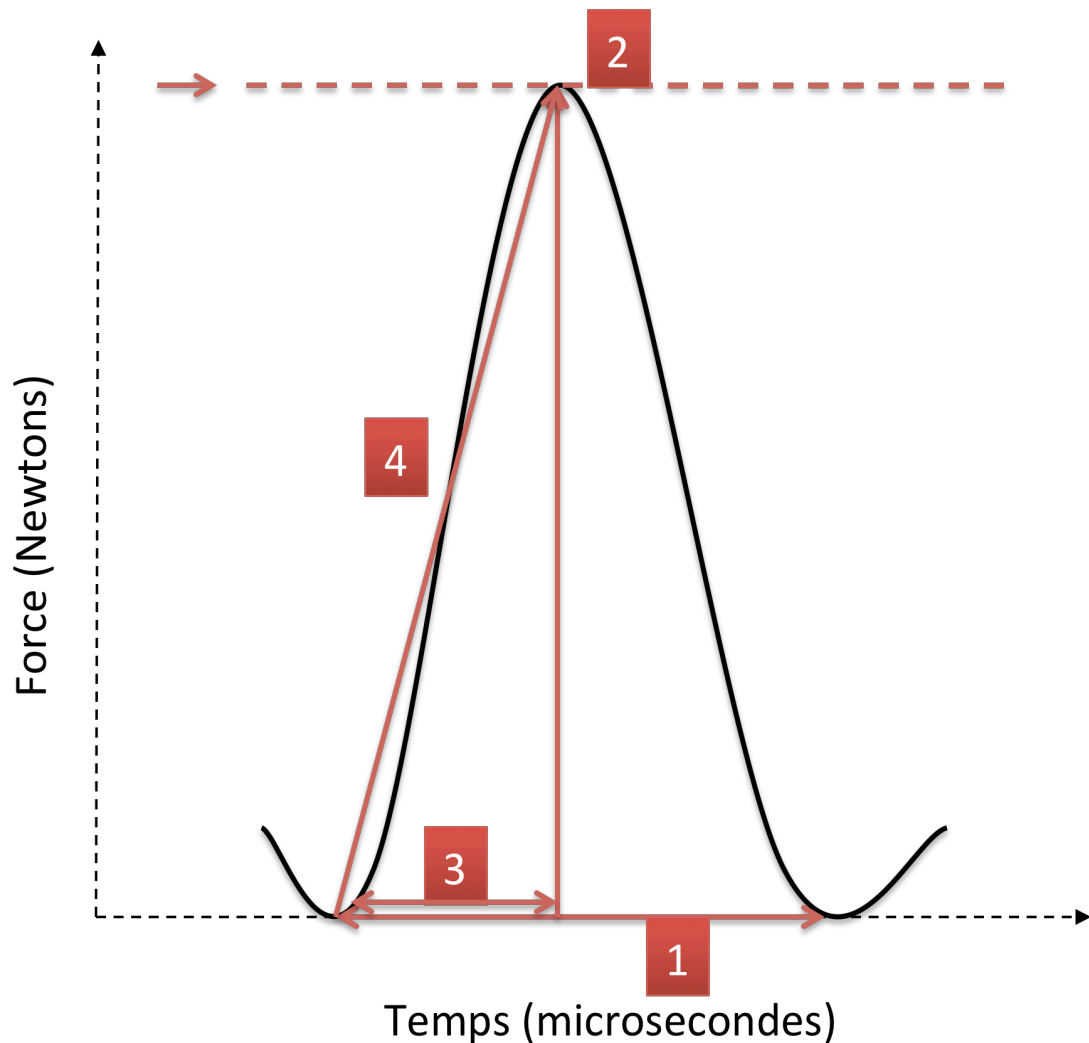


Fig. 3 : Lors de chaque pas, représentés par l'exemple de courbe ci-dessus, quatre informations étaient extraites : la durée de contact au sol (1), la force maximale (2), le temps au pic de force (3) et le ratio force/temps (4).

- 1) Le temps de contact au sol : cette donnée correspond au temps de chaque appui au sol. Elle est calculée en millisecondes. Sur le graphique, cela représente l'intervalle de temps entre deux moments où la force appliquée est de 0. Entre ces deux moments, la courbe de force monte, puis redescend, le temps de l'appui d'un pied sur la plaque. L'analyse de cette donnée permettra de déterminer si les sujets entraînés ont un contact au sol plus rapide.
- 2) Le pic de force : à savoir la force maximale appliquée sur la plaque lors de chaque appui. Elle est calculée en Newton. Cette donnée est représentée sur le graphique par la plus grande force appliquée lors d'un pas, soit la courbe la plus haute.

L'analyse permettra de vérifier si les sujets appliquent une force plus grande après l'entraînement.

- 3) Le temps au pic de force : le temps qu'il a fallu au sujet pour atteindre la force maximale appliquée sur la plaque. Il est calculé en millisecondes et est représenté sur la graphique par le temps écoulé entre le moment de force 0 et le sommet de la courbe.
- 4) Le ratio force/temps : permettra de vérifier si les sujets entraînés appliquent plus de force durant le même intervalle de temps. Il est calculé selon la formule suivante : Pic de Force divisé par Temps au pic de Force. Le ratio sera calculé en Newtons par milliseconde. Cette donnée correspond à la puissance du muscle. (puissance = quantité d'énergie par unité de temps). L'augmentation de ce ratio signifierait donc une augmentation de la puissance du muscle.

Deux autres données ont également été calculées, sans pour autant avoir été prises en compte pour les analyses.

- a) Le temps de descente de force : soit le temps écoulé entre le pic de force et la fin de l'appui du pied au sol.
- b) Le ratio de descente de force par unité de temps : soit le quotient de la force max par le temps de descente de force.

Ces deux données n'étant pas représentatives des buts de cette étude quant aux effets d'un entraînement pliométrique, elles ont été traitées sans être analysées.

Tous les chiffres résultants de cette analyse, ainsi que les résultats provenant des tests de course ont été traités en utilisant Microsoft Office Excel 2007. Ce programme a permis de calculer les moyennes, médianes et écart-types de chaque groupe pour chaque test. L'amélioration proportionnelle entre les pré- et post-tests a également été calculée par Excel.

Pour rendre la lecture de données plus cohérente et simple à déchiffrer, il a été décidé de réduire tous les chiffres résultant des analyses à deux décimales. De ce fait, tous les chiffres ont été arrondis au centième.

### 3.5. Statistiques

Tous les tests statistiques, ainsi que les box plots, ont été effectués en utilisant le programme IBM SPSS Statistics 19 (version d'évaluation). Ce programme a permis l'analyse statistique des résultats.

La première étape de l'analyse a été de vérifier si les échantillons suivent une loi normale. Cette vérification a été faite au moyen du test de Shapiro-Wilk. Ce test permet de vérifier la distribution d'un échantillon et de l'accepter comme normal ou non. En se basant sur d'autres études, le seuil de la p-valeur a été fixé à 0.05. L'hypothèse de normalité est rejetée si la p-valeur est inférieure à 0.05. Pour toutes les valeurs supérieures à cette P-value, le test ne peut pas rejeter l'hypothèse de normalité. Cela tend à dire que l'échantillon suit une loi normale. Ce test est particulièrement valide pour les petits effectifs. C'est principalement pour cela qu'il sera utilisé dans cette recherche.

Les échantillons ayant une distribution normale ont ensuite été soumis à un T-Test de Student. Un T-Test apparié permet de comparer les moyennes d'une population dont un échantillon de mesures doit être comparé à un autre échantillon. Ce test a permis de vérifier si la différence de mesure entre les échantillons est significative. Pour ce test, la p-value a également été fixée à 0.05. Pour toutes les valeurs résultantes inférieures à ce seuil, l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes a été rejetée. Cela signifierait dans ce travail qu'il y a une différence de moyenne significative. En d'autres termes, cela prouverait que le programme d'entraînement a eu un effet sur les performances des sujets et donc que le programme est efficace. Pour toutes les valeurs résultantes supérieures à la p-valeur, l'hypothèse nulle ne peut pas être rejetée. Cela signifierait que la moyenne reste statistiquement la même. Ce résultat signifierait que la performance ne s'est pas améliorée et par conséquent que l'entraînement n'a pas eu les effets escomptés.



Les échantillons dont la normalité n'a pas été acceptée ont été soumis à un test non-paramétrique. Le test de Wilcoxon pour échantillons apparié a été utilisé. Ce test permet de comparer deux échantillons de mesures tirés d'une même population lorsque la normalité de la distribution a été rejetée.

Tous les résultats des tests seront représentés sous forme de box plots afin que la distribution de chaque échantillon puisse être visuellement claire. Les box plots indiqueront les résultats des tests pré- et post- pour les groupes *Control* et *Test* simultanément. Les minimums, moyennes, maximums, ainsi que les améliorations de chaque groupe seront indiquées.

## 4. Résultats

Ce chapitre présente les résultats obtenus pour les différents tests de cette étude. Les deux tests de vitesse et le test d'agilité seront analysés en terme de temps (secondes). Les résultats de qualité des appuis seront exprimés selon le test effectué : la durée de contact au sol sera exprimée en millisecondes, la force maximale en Newtons, la durée au pic de force en millisecondes et le ratio force/temps en Newton par milliseconde. Les résultats des deux groupes seront présentés simultanément afin de pouvoir observer les différences.

### 4.1.Courses

#### 4.1.1. Accélération 0-10m

La distribution des échantillons de mesures des deux groupes suit une loi normale. La P-valeur était respectivement de 0.961 pour le groupe *Control* et de 0.368 pour le groupe *Test*.

Le temps moyen effectué par les sujets du groupe *Test* entre 0 et 10m est de  $1.83 \pm 0.07$  secondes. Après les cinq semaines d'entraînement, une amélioration significative de 1.64% est observée pour ce groupe, pour un résultat final de  $1.80 \pm 0.05$  secondes ( $p=0.000$ ). Le groupe *Control* voit sa performance diminuer significativement de 0.55% ( $p=0.029$ ). La moyenne de ce groupe passe de  $1.82 \pm 0.05$  secondes à  $1.83 \pm 0.05$ . La figure 5 ci-dessous démontre la distribution des résultats des deux groupes en parallèle.

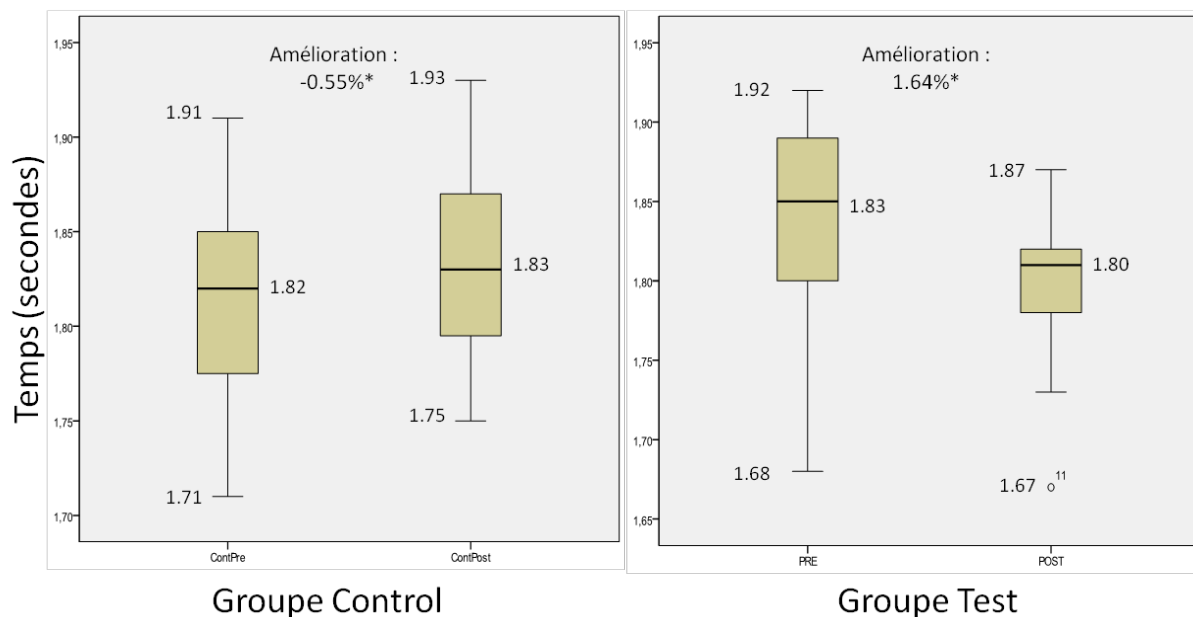


Fig. 4: Pour le groupe *Control* les valeurs passent de 1.71s (min), 1.82s (moyenne), 1.91s (max) à 1.75s, 1.83s et 1.93s. La diminution de performance de -0.55% est significative.

Pour le groupe *Test* les valeurs passent de 1.68s (min), 1.83s (moyenne), 1.92s (max) à 1.67s, 1.80s et 1.87s. L'amélioration de performance de 1.64% est significative.

Une valeur extrême a été trouvée lors du post test du groupe *Test*. Elle est montrée sur la box plot par le cercle (11). Cela signifie que le sujet 11 a réalisé un temps atypique comparé à la distribution.

Le T-test tend à prouver que l'amélioration de la moyenne est significative. Le test confirme l'amélioration de la moyenne et confirme par conséquent que le programme d'entraînement a engendré une amélioration de la performance en accélération.

#### 4.1.2. Vitesse maximale 30-40m

La distribution des échantillons de mesures des deux groupes suit une loi normale. La P-valeur était respectivement de 0.247 pour le groupe *Control* et de 0.378 pour le groupe *Test*.

Le temps moyen effectué par les sujets du groupe *Test* entre 30 et 40m est de  $1.17 \pm 0.06$  secondes. Après les cinq semaines d'entraînement, une amélioration significative de 1.70% est observée pour ce groupe, pour un résultat final de  $1.15 \pm 0.05$  secondes ( $p=0.007$ ). Le groupe *Control* voit sa performance diminuer significativement de 0.85% ( $p=0.043$ ). La moyenne de ce groupe passe de  $1.17 \pm 0.06$  à  $1.18 \pm 0.05$  secondes. La figure 6 ci-dessous démontre la distribution des résultats des deux groupes en parallèle.

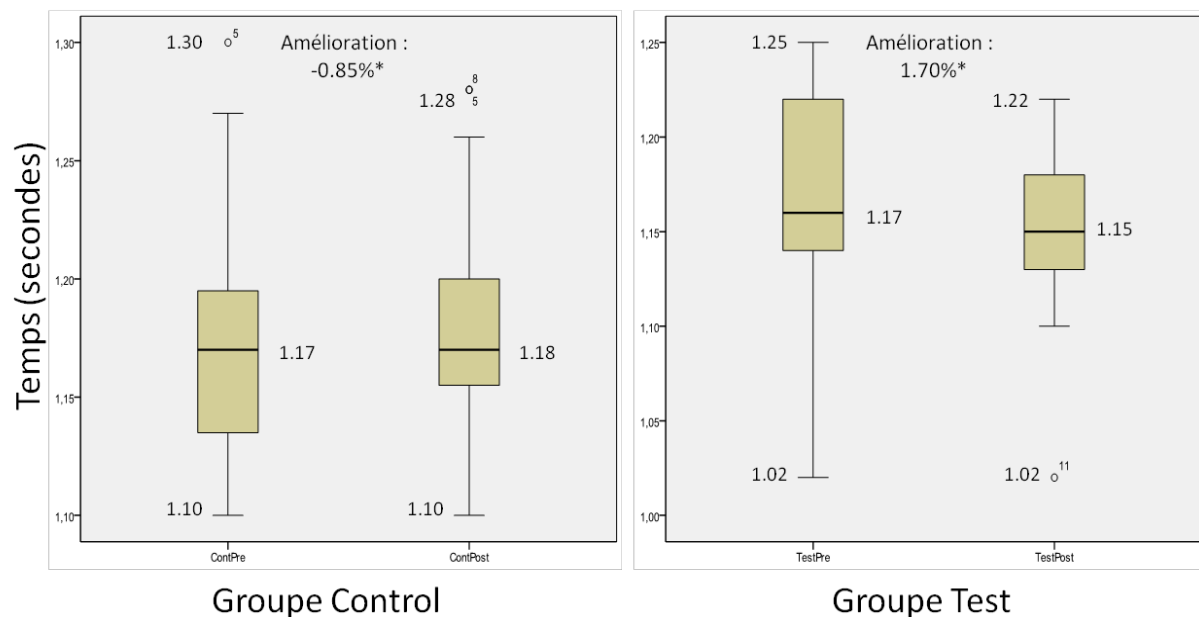


Fig. 5: Pour le groupe *Control* les valeurs passent de 1.10s (min), 1.17s (moyenne), 1.30s (max) à 1.10s, 1.18s et 1.28s. La diminution de performance de -0.85% est significative.  
 Pour le groupe *Test* les valeurs passent de 1.02s (min), 1.17s (moyenne), 1.25s (max) à 1.02s, 1.15s et 1.22s. L'amélioration de performance de 1.70% est significative.  
 Des valeurs extrêmes (5, 8, 11) ont été trouvées.

L'amélioration de performance est significative comme l'indique le résultat du T-Test. La P-value est de 0.007 : cela signifie que l'entraînement a également permis d'améliorer de manière significative la performance en sprint.

#### 4.1.3. Test d'agilité

La distribution des échantillons de mesures des deux groupes suit une loi normale. La P-valeur était respectivement de 0.109 pour le groupe *Control* et de 0.655 pour le groupe *Test*.

Le temps moyen effectué par les sujets du groupe *Test* sur le parcours d'agilité est de  $8.06 \pm 0.21$  secondes. Après les cinq semaines d'entraînement, une amélioration significative de 0.62% est observée pour ce groupe, pour un résultat final de  $8.01 \pm 0.22$  secondes ( $p=0.025$ ). Le groupe *Control* voit sa performance diminuer non-significativement de 0.73% ( $p=0.238$ ). La moyenne de ce groupe passe de  $8.13 \pm 0.32$  à  $8.19 \pm 0.24$  secondes. La figure 7 ci-dessous démontre la distribution des résultats des deux groupes en parallèle.

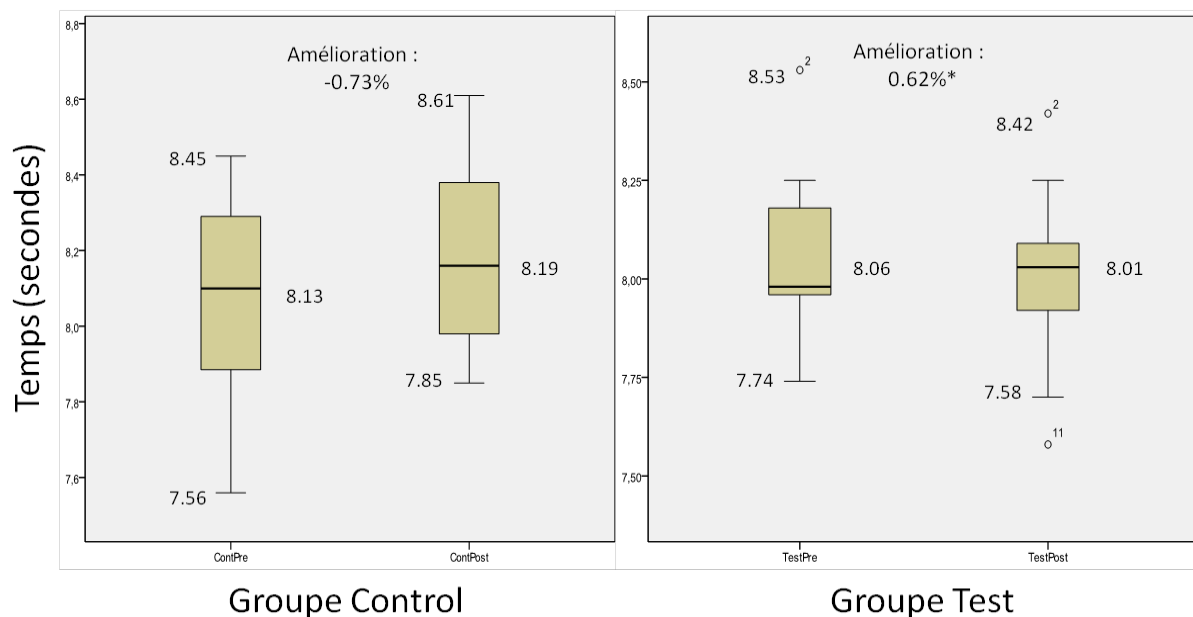


Fig. 6: Pour le groupe *Control* les valeurs passent de 7.56s (min), 8.13s (moyenne), 8.45s (max) à 7.85s, 8.19s et 8.61s. La diminution de performance de -0.73% n'est pas significative. Pour le groupe *Test* les valeurs passent de 7.74s (min), 8.06s (moyenne), 8.53s (max) à 7.58s, 8.01s et 8.42s. L'amélioration de performance de 0.62% est significative. Des valeurs extrêmes (2, 11) ont été trouvées.

La P-value obtenue lors du T-Test est de 0,025 ; l'amélioration de performance est significative. L'entraînement pliométrique effectué a donc engendré une amélioration de performance sur la course d'agilité testée.

## 4.2. Qualité des appuis

Les données qui seront vérifiées dans ce chapitre sont les quatre valeurs de temps et de force prises par la plaque de force.

### 4.2.1. Temps de contact au sol

La distribution de l'échantillon du groupe *Control* suit une loi normale, comme le prouve la P-valeur de 0.150. L'échantillon de mesures du groupe *Test* ne suit pas une loi de distribution normale. La P-valeur de 0.018 le prouve.

L'application d'un test de Wilcoxon est donc nécessaire pour le groupe *Test*. L'amélioration de performance pour ce groupe n'est pas significative ( $p=0.42$ ). L'entraînement pliométrique n'apporte donc pas d'amélioration significative de la durée de contact au sol.

Le temps moyen de contact au sol effectué par les sujets du groupe *Test* est de  $142 \pm 25$  millisecondes. Après les cinq semaines d'entraînement, une amélioration non-significative de 1.40% est observée pour ce groupe, pour un résultat final de  $140 \pm 21$  millisecondes ( $p=0.42$ ). Le groupe *Control* voit sa performance diminuer non-significativement de 0.70% ( $p=0.878$ ). La moyenne de ce groupe passe de  $141 \pm 20$  à  $142 \pm 27$  millisecondes. La figure 8 ci-dessous démontre la distribution des résultats des deux groupes en parallèle.

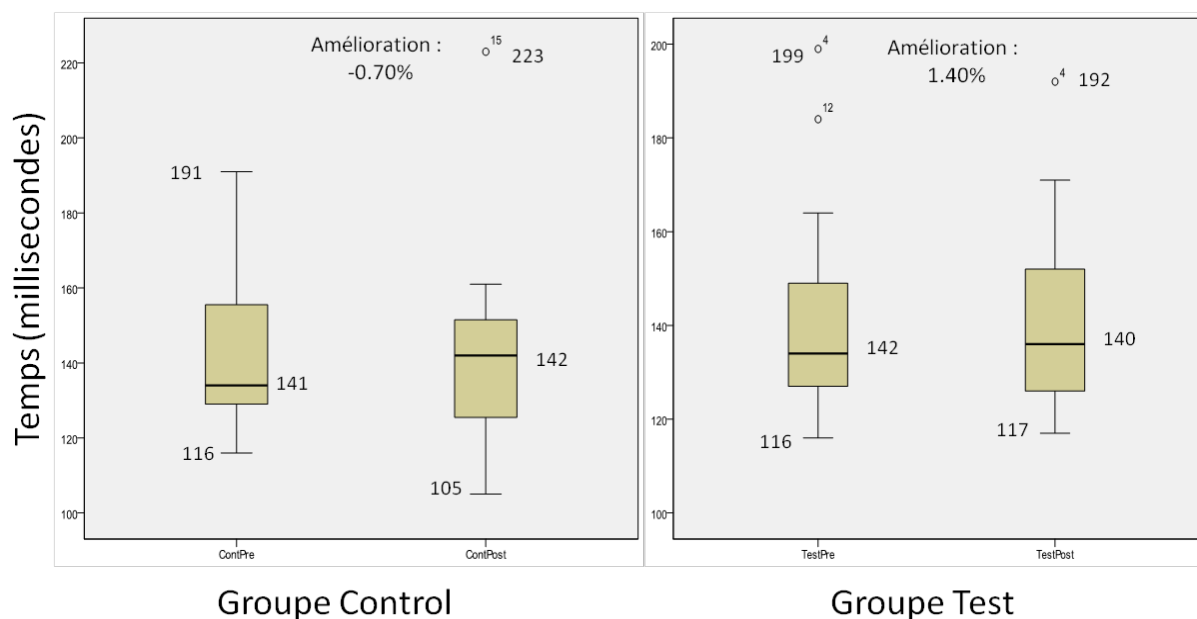


Fig. 7: Pour le groupe *Control* les valeurs passent de 116ms (min), 141ms (moyenne), 191ms (max) à 105ms, 142ms et 223ms. La diminution de performance de -0.70% n'est pas significative. Pour le groupe *Test* les valeurs passent de 116ms (min), 142ms (moyenne), 199ms (max) à 117ms, 140ms et 192ms. L'amélioration de performance de 1.40% n'est pas significative. Des valeurs extrêmes (4, 12, 15) ont été trouvées.

La P-value obtenue lors du T-Test est de 0,42 pour le groupe *Test* ; l'amélioration de performance n'est pas significative. L'entraînement pliométrique effectué n'a pas engendré d'amélioration de performance sur le temps de contact au sol.

#### 4.2.2. Force

La distribution des échantillons de mesures des deux groupes suit une loi normale. La P-valeur était respectivement de 0.507 pour le groupe *Control* et de 0.990 pour le groupe *Test*.

La force moyenne appliquée par les sujets du groupe *Test* sur la plaque de force est de  $2096.6 \pm 356.96$  Newtons. Après les cinq semaines d'entraînement, une amélioration non-significative de 2.67% est observée pour ce groupe, pour un résultat final de  $2124.91 \pm 353.45$  Newtons ( $p=0.593$ ). Le groupe *Control* voit sa performance s'améliorer non-significativement de 5.09% ( $p=0.279$ ). La moyenne de ce groupe passe de  $2004.73 \pm 297.57$  à  $2106.95 \pm 447.69$  Newtons. La figure 9 ci-dessous démontre la distribution des résultats des deux groupes en parallèle.

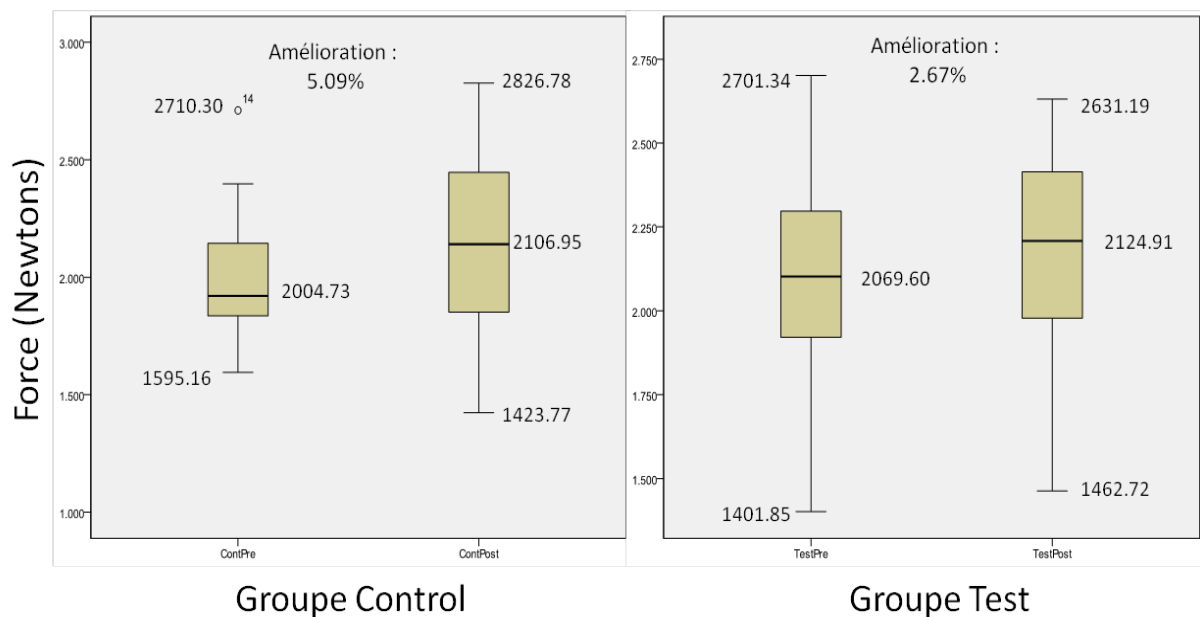


Fig. 8: Pour le groupe *Control* les valeurs passent de 1595.16N (min), 2004.73N (moyenne), 2710.30N (max) à 1423.77N, 2106.95N et 2826.78N. L'amélioration de performance de 5.09% n'est pas significative. Pour le groupe *Test* les valeurs passent de 1401.85N (min), 2069.60N (moyenne), 2701.34N (max) à 1462.72N, 2124.91N et 2631.19N. L'amélioration de performance de 2.67% n'est pas significative. Une valeur extrême (14) a été trouvée.

Le résultat obtenu lors du T-test est de 0.593 pour le groupe *Test*. Cela indique que malgré le gain en application de force, cette amélioration n'est pas significative. Le programme d'entraînement n'a alors pas eu d'effet significatif sur la force appliquée au sol.

Au vu des résultats, la force appliquée au sol s'est améliorée également pour le groupe *Control*, bien qu'il ne se soit pas entraîné. L'amélioration est même supérieure pour ce groupe que pour le groupe *Test*.

#### 4.2.3. Temps au pic de force

La distribution des échantillons de mesures des deux groupes suit une loi normale. La P-valeur était respectivement de 0.368 pour le groupe *Control* et de 0.502 pour le groupe *Test*.

Le temps moyen effectué par les sujets du groupe *Test* pour atteindre le pic de force est de  $65 \pm 14$  millisecondes. Après les cinq semaines d'entraînement, une amélioration non-significative de 4.61% est observée pour ce groupe, pour un résultat final de  $62 \pm 20$  millisecondes ( $p=0.564$ ). Le groupe *Control* voit sa performance diminuer non-significativement de 8.19% ( $p=0.186$ ). La moyenne de ce groupe passe de  $61 \pm 17$  à  $66 \pm 15$  millisecondes. La figure 10 ci-dessous démontre la distribution des résultats des deux groupes en parallèle.

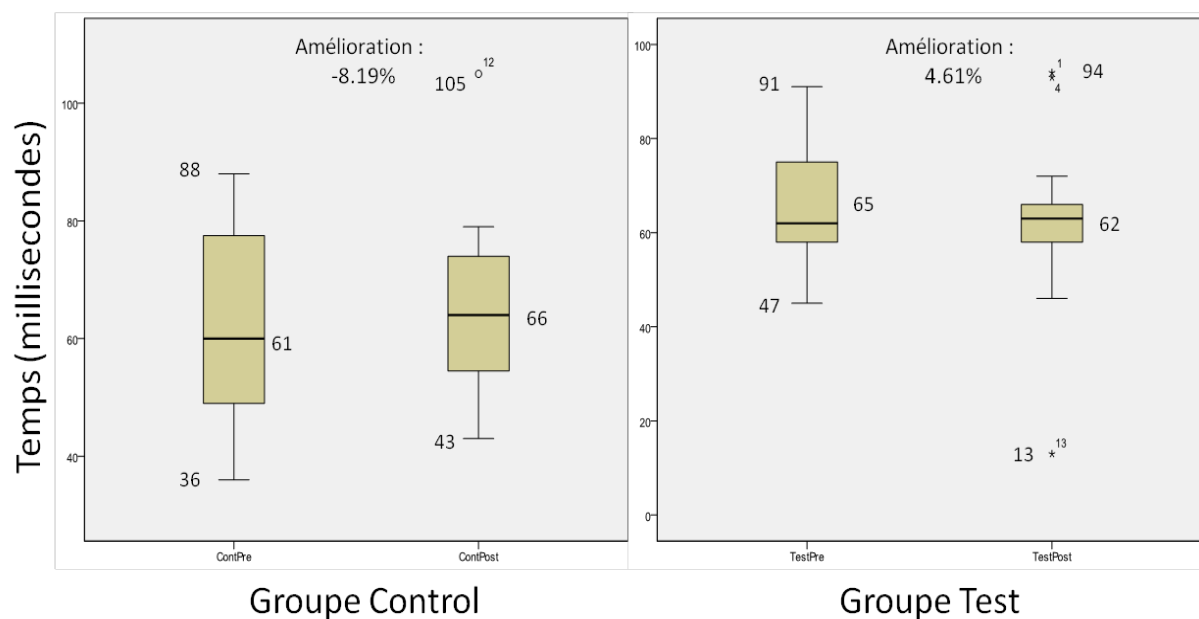


Fig. 9: Pour le groupe *Control* les valeurs passent de 36ms (min), 61ms (moyenne), 88ms (max) à 43ms, 66ms et 105ms. La diminution de performance de -8.18% n'est pas significative. Pour le groupe *Test* les valeurs passent de 47ms (min), 65ms (moyenne), 91ms (max) à 13ms, 62ms et 94ms. L'amélioration de performance de 4.61% n'est pas significative. Des valeurs extrêmes (1, 4, 12, 13) ont été trouvées.

Malgré la baisse de la moyenne, et l'abaissement de la box-plot des résultats post-test, l'amélioration n'est pas suffisante pour être significative ( $p=0,564$ ). L'entraînement de pliométrie effectué n'engendre donc pas d'amélioration de temps au pic de force.

#### 4.2.4. Ratio Force/Temps

La distribution des échantillons de mesures des deux groupes suit une loi normale. La P-valeur était respectivement de 0.158 pour le groupe *Control* et de 0.485 pour le groupe *Test*.

Le ratio moyen effectué par les sujets du groupe *Test* est de  $33.04 \pm 7.89$  N/ms. Après les cinq semaines d'entraînement, une amélioration non-significative de 32.68% est observée pour ce groupe, pour un résultat final de  $43.84 \pm 38.69$  N/ms ( $p=0.387$ ). Le groupe *Control* voit sa performance diminuer non-significativement de 3.74% ( $p=0.636$ ). La moyenne de ce groupe passe de  $35.28 \pm 12.46$  à  $33.96 \pm 10.67$  N/ms. La figure 11 ci-dessous démontre la distribution des résultats des deux groupes en parallèle.

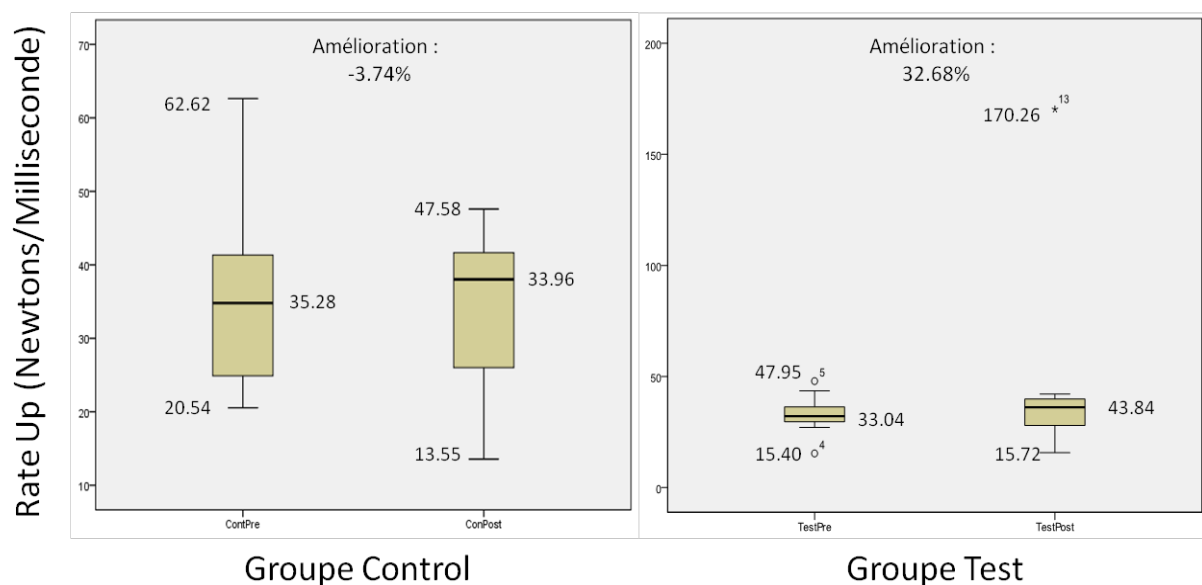


Fig. 10: Pour le groupe *Control* les valeurs passent de 20.54N/ms (min), 35.28N/ms (moyenne), 62.62N/ms (max) à 13.55N/ms, 33.96N/ms et 47.58N/ms. La diminution de performance de -3.74% n'est pas significative. Pour le groupe *Test* les valeurs passent de 15.40N/ms (min), 33.04N/ms (moyenne), 47.95N/ms (max) à 15.72N/ms, 43.84N/ms et 170.26N/ms. L'amélioration de performance de 32.68% n'est pas significative. Des valeurs extrêmes (4, 5, 13) ont été trouvées.

L'amélioration du RateUp est de l'ordre de 38.27%. Cette augmentation n'est par contre pas significative pour prouver un effet de l'entraînement pliométrique ( $p=0.387$ ). L'entraînement pliométrique n'a en conclusion pas eu d'effet significatif sur le ratio force/temps des sujets.



Tab. 4 : Récapitulatif des résultats

Tests			Groupe Control	Groupe Test
SPRINTS :	0-10m (s)	Pré	1.82 ± 0.06	1.83 ± 0.07
		Post	1.83 ± 0.05	1.80 ± 0.05*
	30-40m (s)	Pré	1.17 ± 0.06	1.17 ± 0.06
		Post	1.18 ± 0.06	1.15 ± 0.05*
	Agilité (s)	Pré	8.13 ± 0.32	8.06 ± 0.21
		Post	8.19 ± 0.25	8.01 ± 0.23*
SKIPPINGS :	Temps de contact (ms)	Pré	141.87 ± 20.31	142.62 ± 25.10
		Post	142.53 ± 27.53	140.84 ± 21.37
	Pic de Force (N)	Pré	2004.73 ± 297.57	2096.6 ± 356.96
		Post	2106.95 ± 447.69	2124.91 ± 353.45
	Temps au Pic de Force (ms)	Pré	61.67 ± 17.02	65.08 ± 14.16
		Post	65.87 ± 15.58	61.92 ± 20.32
	Ratio Force/Temps (N/ms)	Pré	35.28 ± 12.46	33.04 ± 7.89
		Post	33.96 ± 10.67	43.84 ± 38.69
* = Amélioration significative de la performance				

Ce tableau résume les résultats obtenus pour tous les pré- et post-tests. En définitive, bien que le groupe *Test* ait améliorés ses performances dans tous les tests, seuls les améliorations des temps de course sont significatives. Le groupe *Control* a quant à lui vu ses performances diminuer au cours des 5 semaines de routine. Il est également à noter que le groupe *Test* obtient de meilleurs résultats que le groupe *Control* dans tous les domaines, et ce même si leurs résultats lors des pré-tests étaient inférieurs. Le programme d'entraînement a donc eu des effets bénéfiques sur tous les tests, mais pas suffisamment pour qu'ils soient significatifs.

## 5. Discussion et conclusion

Le but de cette étude était d'observer si un programme d'entraînement pliométrique pouvait provoquer des améliorations en vitesse de course et dans la qualité des appuis. Les résultats tendent à prouver qu'un entraînement pliométrique intense de cinq semaines améliore les capacités explosives de footballeurs amateurs, et en particulier leur vitesse de course. Des améliorations significatives ont été observées pour les trois tests de course (0-10m, 30-40m, test d'agilité) En ce qui concerne la qualité des appuis, tous les tests (temps de contact au sol, force au sol, temps au pic de force, ratio force/temps) ont également montré des améliorations de performance, mais celles-ci n'étaient pas significatives.

### 5.1. Vitesse et agilité

Les améliorations prouvées par cette étude quant aux vitesses de course rejoignent celles trouvées dans d'autres recherches. Plusieurs études s'étaient en effet déjà penchées sur la qualité d'accélération suite à un entraînement pliométrique et la majorité d'entre elles trouvaient des résultats similaires.

L'amélioration de performance de 1.92% trouvée sur la distance 0-10m prouve que la pliométrie a des effets bénéfiques sur l'accélération. Meylan C. et Malatesta D. (2009) ont prouvé une amélioration de performance sur une course 0-10m de l'ordre de 2.1% après un entraînement pliométrique de 8 semaines sur des adolescents. Sur la même distance, Sedano et al. (2011) constataient également des améliorations significatives.

Chelly et al. (2010) ont également prouvé une amélioration de performance significative sur 0-5m après un entraînement pliométrique de 8 semaines. Sedano et al. (2011) avançaient qu'un tel entraînement améliorait la force explosive et que l'amélioration en accélération était liée à l'amélioration de force. Söhnlein et al. (2014) avançaient également qu'un entraînement pliométrique améliorait la capacité d'accélération. Ils relevaient une amélioration significative de 2.2% lors des post-tests.

D'un autre côté, une étude effectuée par Thomas et al. (2009) n'a démontré aucune amélioration pour une même distance d'accélération (10m) suite à un entraînement pliométrique. Cela va de pair avec l'étude de Ramirez-Campillo et al. (2014) qui ne

démontrait, elle non plus, aucune amélioration sur une accélération de 20m. Les chercheurs expliquaient que le manque d'amélioration était dû à la nature de l'entraînement. Des exercices pliométriques verticaux auraient réduit les chances de transformer ces gains en force horizontales et de les appliquer au sprint. Effectivement, Morin et al. (2012) avançaient que la capacité à appliquer des forces horizontales dirigées vers l'avant lors de l'accélération était primordiale pour une bonne performance de sprint. Dans le cadre de cette étude, le programme d'entraînement était principalement composé de sauts verticaux, et en particulier de drop jumps. Toutes les forces travaillées étaient par conséquent des forces de réaction verticales. Malgré la nature de ces exercices, il n'en reste pas moins que le temps des sujets sur la distance 0-10m s'est amélioré de manière significative, allant de ce fait à l'encontre de la conclusion tirée par Ramirez-Campillo et al. (2014)

Delecluse et al. (1995) démontraient qu'il y a trois phases principales lors d'une course : a) l'accélération initiale (0-10m), b) l'accélération au maximum (10-36m), c) la vitesse maximale (36-X m). De ce fait, l'accélération correspond à ce qui a été testé dans cette étude. Selon l'étude de Delecluse, la vitesse maximale est atteinte après 36m. C'est une moyenne stricte relatée par les chiffres sortant de son travail. Il est plus courant dans le monde sportif de dire que la vitesse maximale est atteinte vers les 30m, ce qui rend le protocole de cette étude, plus précisément la prise de mesure entre 30 et 40m, fiable.

Cette étude a démontré une amélioration significative du temps de course entre 30 et 40m de l'ordre de 1.52%. La pliométrie est décrite comme idéale pour le travail en sprint, et est par conséquent utile pour les sports dynamiques. L'entraînement pliométrique effectué pour ce test a donc eu les effets escomptés.

Une étude de Chelly et al. (2010) trouvait des améliorations similaires sur l'intervalle 35-40m. Ronnestad et al. (2008) observaient également des effets significatifs sur la distance 30-40m, ainsi que sur la distance totale 0-40m. Dietz et al. (1979) avançaient que, lors d'un sprint, l'activité du gastrocnémien prise par EMG était 2 à 3 fois supérieure que lors d'une contraction volontaire maximale et que cela demandait un haut niveau d'activation neuronale. L'entraînement pliométrique a une incidence sur les facteurs nerveux, comme vu précédemment. Il permet un recrutement plus rapide des unités motrices, une fréquence de décharge maximale plus élevée, une plus grande quantité de doublets d'innervation, une

meilleure synchronisation des unités motrices. Tout cela réuni engendre un plus grand niveau de montée de force et une vitesse de contraction du muscle plus grande. Toutes ces adaptations au niveau nerveux sont responsables du gain en vitesse maximale observé. Morin et al. (2012) arrivaient à la conclusion que les facteurs de vitesse sur un sprint de 100m étaient :

- a) un profil de force « velocity-oriented », expliqué par
- b) une plus grande capacité à appliquer ces forces au sol vers l'avant durant l'accélération
- c) une fréquence de pas plus grande et un contact au sol plus court.

Notre étude a observé des temps de contacts au sol plus courts mais non-significatifs. Cela ne peut donc pas entrer en ligne de compte afin d'expliquer les améliorations de sprints. Les facteurs nerveux seraient à nouveau une explication plausible. Notre étude n'ayant pas observé les vecteurs d'application de force, il est possible que les participants aient mobilisé plus de forces horizontales lors de la deuxième partie de sprint.

Cette étude a également démontré une amélioration de performance quant à l'agilité. L'amélioration est faible (moyenne de 0.71%) mais reste significative. D'autres études comme celles de Ramirez-Campillo (3.9%), Vaczi (1.7%) et Miller (2.93%) prouvent qu'un entraînement pliométrique améliore l'agilité sur un Illinois Agility Test. Ces deux derniers ont également testé l'agilité sur un T-Test et ont obtenu des améliorations respectives de 2.5% et 4.86%. Meylan et al. (2009) ont également observé des bénéfices de la pliométrie sur un test d'agilité ressemblant à celui de cette étude. Il consistait en 4 virages à 60° sur une distance totale de 10m. Ils expliquaient que ce genre de test est plus approprié pour déterminer une amélioration de performance dans un sport tel que le football. En effet, ce genre de mouvements est plus caractéristique du football que d'autres genres de test d'agilité. Ils avançaient également que l'entraînement pliométrique avait amélioré la force excentrique des muscles des jambes, qui est un facteur important pour le changement de direction durant la phase de décélération. En effet, Sheppard & Young (2006) suggéraient que la force réactive ainsi que la force concentrique lors de la décélération étaient des facteurs importants lors de course avec changements de direction et dès lors, importants également pour l'agilité. Ramirez-Campillo arrivait dans son étude à la même conclusion.

Miller et al. (2006) constataient également des améliorations d'agilité et attribuaient ces résultats à une adaptation neurale, tout particulièrement à une amélioration de la coordination intermusculaire. Cette coordination permet de recruter plus d'unités motrices simultanément. En augmentant ce nombre, la vitesse de contraction du muscle augmente, et par conséquent la force réactive en fait de même.

En définitive, les adaptations physiologiques engendrées par un entraînement pliométrique dont l'amélioration du cycle étirement – raccourcissement, tendent à optimiser la vitesse d'accélération, la vitesse maximale ainsi que l'agilité de footballeurs amateurs.

## **5.2. Qualité des appuis**

Cette étude a également démontré des améliorations de la qualité des appuis. Le temps de contact au sol et le temps au pic de force ont diminué pour le groupe Test, alors que le pic de force et le ratio force/temps ont tous deux augmenté. Les résultats obtenus ne sont par contre pas significatifs. On ne peut donc pas attribuer les améliorations trouvées à l'entraînement pliométrique. Plusieurs études ont quant à elles trouvé des effets significatifs sur le temps de contact au sol et sur le pic de force.

Miller et al. (2006) ont ainsi observé qu'un entraînement pliométrique de 6 semaines permettait de diminuer le temps de réaction au sol. Leur test consistait en un exercice de skipping en mouvement. Ils suggéraient que cette amélioration se faisait par l'augmentation de la puissance musculaire et de l'efficacité du mouvement. Au contraire, Lockie et al. (2014) ont démontré qu'un entraînement de 6 semaines principalement composé de sauts verticaux résultait en un temps de contact plus long. Leur tests se sont quand à eux déroulés d'une autre manière. Il était demandé aux sujets de faire un sprint droit et la plaque de force se situait sur le tracé du sprint. Les enregistrements de force ont été effectués en pleine course.

Une étude de Wong et al. (2012) mettait en avant des améliorations différentes selon le type d'exercice pliométrique utilisé. Ils ont des exercices qu'ils ont nommé HOP et SPEED. L'exercice HOP demandait aux sujets de sauter diagonalement le plus loin possible de jambe en jambe de manière régulière et continue. L'exercice SPEED était un exercice de skipping

latéral que les sujets devaient exécuter le plus rapidement possible. Leurs résultats indiquaient que l'exercice SPEED permettait de diminuer le temps de contact au sol alors que le HOP induisait un temps au sol plus long, mais un pic de force et un ratio de développement de force plus grands.

La majeure partie des exercices astreints lors de cette étude feraient, selon définition, partie du type SPEED. Effectivement, hormis les long jumps qui demandaient un contact au sol plus long, tous les exercices demandaient un contact court, une exécution des plus rapides et une application de force maximale. Si les résultats avaient été significatifs, le genre d'exercice dispensé lors de cette étude auraient permis non seulement d'augmenter la force appliquée, mais également de diminuer le temps de contact au sol. Il aurait donc été l'équivalent des exercices HOP et SPEED réunis.

L'étude de Lockie et al. (2014) avait, dans la continuité, prouvé une augmentation de force verticale appliquée sur la plaque. De plus, elle affirmait plus spécifiquement qu'un entraînement pliométrique augmentait la force verticale produite. Les résultats de notre étude rejoignent donc celle de Lockie, étant donné que la force enregistrée était la force verticale. De plus, elle avançait que la force verticale était impliquée dans l'accélération, le sprint et l'agilité. Cela se vérifie dans notre étude où, malgré une amélioration de force non-significative, ces trois capacités se sont améliorées.

Très peu d'informations sont fournies sur le temps au pic de force ou le ratio force/temps dans la littérature. Cette étude pourrait être la première à s'être penchée sur ces caractéristiques de force. L'amélioration du ratio force/temps s'explique par les améliorations cumulées de la force verticale et du temps de contact au sol. Ces deux domaines ayant déjà été discutés, les résultats obtenus ici paraissent donc clairs. Il est donc à conclure que l'entraînement pliométrique effectué chez des footballeurs amateurs leur permet de pouvoir mobiliser plus de force par même intervalle de temps. Ces deux caractéristiques exprimant la puissance, ce programme prouve l'amélioration de cette fonction du muscle.

Le temps au pic de force peut être mis en relation avec les effets physiologiques de l'entraînement pliométrique. Comme expliqué auparavant, un tel entraînement provoquerait des adaptations neuronales telles que le recrutement stratégique, la vitesse de

recrutement et une meilleure synchronisation des unités motrices. Ces adaptations permettraient une vitesse de contraction musculaire plus grande et donc une production de force supérieure et plus rapide.

### 5.3. Points forts et limitations

Les points forts de ce travail auront été la conception et l'application du protocole, la rigueur des sujets, la supervision des entraînements et la fiabilité des mesures. L'accès aux appareils et aux salles de sport ont grandement facilité le déroulement des tests du point de vue matériel. De plus, le planning établi et la ponctualité des participants ont permis de pouvoir accorder un maximum de temps à chaque sujet dans le but de leur donner toutes les informations nécessaires au bon déroulement des tests, en gardant tout du moins des temps de passages courts. Cela a permis de tester de manière rapide mais efficace le plus de participants lors des horaires de location des salles.

Il faut mettre en exergue également le sérieux des sujets du groupe Test, qui se sont arrangés pour toujours être présents, même lors de changements d'horaires dus aux jours fériés ou aux changements de salles d'entraînement. Ils respectaient les consignes données et ont facilité le déroulement des entraînements par leur écoute et leur sérieux. La supervision des entraînements a de ce fait été plus facile que prévu car les sujets étaient à l'écoute des commentaires et s'efforçaient d'acquiescer l'exécution de mouvement appropriée.

Les mesures ont ainsi été effectuées avec rigueur et leur fiabilité est un point fort de ce travail. Tous les participants ont donné leur maximum lors de chaque test. De ce fait, aucune donnée non-adéquate ne s'est immiscée au sein des autres et a perturbé les résultats finaux. Ceux-ci devraient être exempts de toute donnée non fiable.

D'un autre côté, la perte de deux sujets appartenant au groupe Test aura peut-être préjudicié la fiabilité des résultats obtenus, étant donné que l'effectif du groupe a été réduit à 13.

Une grande réserve est émise quant aux résultats obtenus pour le test de skipping sur la plaque de force. Effectivement, l'exercice de skipping n'est peut-être pas un exercice approprié dans le but de juger les forces chez des footballeurs amateurs. C'est un exercice

qui n'est relativement pas « naturel » pour des footballeurs. Il aurait été plus adapté à des sportifs pratiquant de l'athlétisme par exemple. Bien que des exercices de skipping soient courants au sein d'entraînements de football, le fait de devoir monter les genoux à hauteur de hanche n'est pas naturel dans ce sport. De ce fait, afin d'exécuter le mouvement selon le protocole, il est possible que certains sujets n'aient pas atteint leur vitesse d'exécution maximale lors de ce test. Du moins, s'il s'est avéré que ces sujets aient montré des problèmes lors des premiers tests, il n'en reste pas moins que les difficultés rencontrées lors des pré-tests se soient retrouvées lors des post-tests. Dans cette optique, les résultats en resteraient cohérents.

Il serait dès lors possible de remettre en cause le lien entre cet exercice de skipping et le choix de la population de footballeurs. En définitive, le point du protocole demandant de remonter le genou à hauteur de hanche n'était peut-être pas adapté à la population. Un exercice de skipping sur place sans contrainte aurait peut-être été un meilleur indice de qualité des données. Dans un autre sens, la population n'était pas adaptée à l'exercice demandé. Pour cela, le choix de la population aurait pu se porter vers un autre échantillon (ex : athlètes)

Aussi, il aurait pu être bénéfique d'établir des restrictions claires quant aux activités sportives autorisées en dehors du programme d'entraînement établi. Il a été demandé aux sujets de ne pas changer leurs habitudes sportives, certains sujets ont donc peut-être pratiqué plus de sport que d'autres. Une restriction totale d'autres activités aurait peut-être amené à des résultats plus significatifs.

La non-signification des résultats est peut-être également due à la durée du programme d'entraînement. Les résultats ont démontré des améliorations dans tous les domaines pour le groupe *Test*. Le groupe *Control* n'a par contre pas amélioré une seule mesure. L'entraînement établi a donc fonctionné, ne serait-ce que dans de faibles proportions. Afin de rendre les résultats obtenus significatifs, le programme d'entraînement aurait pu être rallongé de quelques semaines. Du temps d'entraînement supplémentaires aurait peut-être permis une plus grande progression, et aurait donc permis d'atteindre des résultats significatifs pour tous les tests. La durée du programme pourrait donc être remise en question.



Une autre raison pourrait également être l'intensité des exercices. Le programme établi aurait peut-être pu être modifié afin d'augmenter encore un peu plus les sollicitations physiques. Le feed-back de douleurs musculaires en fin de programme oscillait entre 1 et 2. Le volume des exercices aurait pu être légèrement augmenté afin que le travail soit plus conséquent. Plus de travail aurait pu mener à de plus grandes améliorations. L'amélioration des résultats, mais le fait que seulement celle de trois d'entre eux soit significative est donc hypothétiquement due à la durée du programme ou à l'intensité des exercices en fin de programme.

#### **5.4. Perspectives de nouvelles questions de recherche**

Les vitesses de courses ayant été améliorées dans cette étude, de prochaines recherches pourraient se focaliser de manière plus pointue sur la qualité des appuis. En mettant en place un protocole plus adapté à l'observation des forces au sol, de prochaines études pourraient prouver l'amélioration de performance par la pliométrie de manière plus appropriée. L'exercice de skipping s'est révélé inefficace car il était à priori inadapté à la population de footballeurs. De plus, cette étude étoffe un peu plus les recherches faites sur des sportifs amateurs. Elle pourrait donc être utilisée comme base comparative pour toute étude traitant des effets d'un entraînement pliométrique sur une population amateur.

#### **5.5. Conclusion**

Il a donc été prouvé par cette étude qu'un entraînement pliométrique intensif de 5 semaines effectué sur des footballeurs amateurs n'améliorait pas de manière significative les forces de réaction au sol mais améliorait significativement les différentes vitesses de course. L'entraînement n'a donc pas eu les effets escomptés sur la qualité des appuis. Même si des améliorations ont été observées pour le groupe Test, elles n'étaient pas suffisantes pour prouver un bénéfice de l'entraînement. Les limitations de cette étude vis-à-vis des forces au sol, et surtout de l'exercice de skipping, ont sûrement été un facteur décisif dans l'échec d'amélioration de performance lors de cet exercice. La mise en place d'un protocole plus adapté à la prise de mesures des forces au sol permettrait peut-être, suite à un même programme d'entraînement, d'observer de meilleurs résultats. Par contre, l'entraînement

pliométrie pratiqué a permis d'améliorer les capacités d'accélération, de vitesse de course maximale et d'agilité des sujets entraînés. Pour un échantillon de footballeurs, ces résultats sont donc convaincants car, adaptés à un programme lors d'une saison, ils pourraient permettre aux joueurs de gagner en explosivité. Le football a de plus en plus tendance à devenir un sport où physique et tactique sont autant importants l'un que l'autre. Il a été observé au fil des années que les footballeurs devenaient de plus en plus athlétiques. Cela est dû au changement des sollicitations du football moderne.

Ce programme a donné un aperçu des gains possibles d'un entraînement de pliométrie effectué hors saison chez des footballeurs amateurs. Les vitesses de course peuvent être améliorées par ce programme. Celui-ci pourrait donc être repris par des entraîneurs dans le but d'améliorer l'explosivité de leurs joueurs. Il pourrait être utilisé tel quel hors-saison, ou être adapté afin d'être placé en cours de saison.

## 6. Bibliographie

### 6.1. Livres

- Cometti, D., Cometti, G. (2012). *La Pliométrie, méthode de restitution d'énergie au service de la performance sportive*. Edition Chiron.
- Dufour, M. (2009). *Les diamants neuromusculaires. Les qualités physique, Tome 1 : l'explosivité et la puissance musculaire*. Edition Volodalen.
- Dufour, M. (2011). *Le puzzle de la performance. Les qualités physiques, Tome 4 : planification, périodisation et régulation de la charge d'entraînement*. Edition Volodalen.
- Ferre, J., Leroux, P. (2009). *Préparation aux diplômes d'éducateur sportif, Tome 1*, Edition Amphora, France.
- Hollman, W., Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart : Schattauer Verlagsgesellschaft mbH.

### 6.2. Revues littéraires

- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., Shephard, R. J. (2011). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24(10)/2670-2676
- Delecluse, C., Van Coppenholle, H., Willems E., Van Leemputte, M., Diels, R., Goris, M. (1995). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27(8):1203-1209.
- Dietz, V., Schmidtbleicher, D., Noth, J. (1979). Neuronal Mechanisms of Human Locomotion. *Journal of Neurophysiology*, Vol 42, No 5, 1213-1222
- Ebben, W. P., Fauth, M. L., Garceau, L. R., Petushek, E. J. (2011). Kinetic quantification of plyometric exercise intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12)/3288-3298.
- Fukunaga, T., Ito, M., Ichinose, Y., Kuno, S., Kawakami, Y., Fukashiro, S. (1996). Tendinous movement of a human muscle during voluntary contractions determined by real-time ultrasonography. *Journal of Applied Physiology*, 81(3):1430-1433
- Huxley, A. F., Simmons R. M. (1971). Proposed mechanism of force generation in striated muscle. *Nature* 233(5321):533-8.

- Jensen, R. L., Ebben, W. P. (2007). Quantifying plyometric intensity via rate of force development, knee joint, and ground reaction forces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 763-767.
- Komi, P. V., Nicol, C. (2011). Stretch-shortening cycle. p. 15-30. In: Komi, P. V. *Neuromuscular Aspects of Sport Performance*, 1st edition. Edited by Komi P.V. Blackwell Publishing Ltd.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Callaghan, S. J., Jeffriess, S. J. (2014). Effects of sprint and plyometrics training on field sport acceleration technique. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(7)/1790-1801.
- Markovic, G., Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine* 40/859–895
- Meylan, C., Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(9)/2605-2613.
- Miller, M. G., Herniman, J. J., Ricard, M. D., Cheatham, C. C., Michael T. J. (Sept 2006). The effects of a 6-week plyometric training program on agility. *J Sports Sci Med* 5(3); 459-465
- Morin, J., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., Lacour, J. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, Volume 112, Issue 11, 3921-3930
- Piper, T. J., Erdmann, L. D. (1998). A 4-step plyometric training. *Strength & Conditioning*. 20(6):72-73
- Ramirez-Campillo, R., Meylan, C., Alvarez, C., Henriquez-Olguin, C., Martinez, C., Canas-Jamett, R., Andrade D. C., Izquierdo, M. (2014). Effects of in-season low-volume high-intensity plyometric training on explosive actions and endurance of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28(5)/1335-1342.
- Ronnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A., Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(3)/773–780
- Schmidbleicher, D. (1986). Neurophysiologische Aspekte des Sprungkrafttrainings. Carl, K. & Schiffer, J. (Red.). *Bundesinstitut für Sportwissenschaft - Zur Praxis des Sprungkrafttrainings*, 56-72.

- Sedano, S., Matheu, A., Redondo, J. C., Cuadrado, G. (2011). Effects of plyometric training on explosive strength, acceleration capacity and kicking speed in young elite soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 51(1):50-8.
- Söhnlein, Q., Müller, E., Stöggl, T. L. (2014). The effect of 16-week plyometric training on explosive actions in early to mid-puberty elite soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28(8)/2105-2114.
- Sheppard, J. M., Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences* 24(9)/919-932
- Thomas, K., French, D., Hayes, P. R. (2009). The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(1)/332-335.
- Vaczi, M., Tollar, J., Meszler, B., Juhasz, I., Karsai, I. (2013). Short-term high intensity plyometric training program improves strength, power and agility in male soccer players. *J Hum Kinet.* 36; 17-26
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology* Vol. 89 no. 5, 1991-1999
- Wong, D. P., Chaouachi, A., Dellal, A., Smith, A. W. (2012). Comparison of ground reaction forces and contact times between 2 lateral plyometric exercises in professional soccer players. *Int J Sports Med.* 33: 647-653.

### 6.3. Scripts de Hautes Ecoles

- Vermandele, C. (2012). *Statistique descriptive univariée*. Consulté le 2 février 2015 depuis le site Internet de l'Université Libre de Bruxelles. Disponible sur [http://www.itse.be/statistique2010/co/233\\_Cours\\_boxplot.html](http://www.itse.be/statistique2010/co/233_Cours_boxplot.html)
- Rakotomalala, R. (2011). *Tests de normalité - Techniques empiriques et tests statistiques. Version 2.0*. Consulté le 28 janvier 2015 depuis le site internet des Universités de Lyon Lumière et Claude Bernard. Disponible sur [http://chirouble.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours/Test\\_Normalite.pdf](http://chirouble.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours/Test_Normalite.pdf)
- *Test du Student pour échantillons appariés*. Consulté le 3 mars 2015 depuis le site internet de l'Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique de Paris. Disponible sur [http://marne.u707.jussieu.fr/biostatgv/?module=tests/student\\_appar](http://marne.u707.jussieu.fr/biostatgv/?module=tests/student_appar).

- *Test du Student pour échantillons appariés*. Consulté le 3 mars 2015 depuis le site internet de l'Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique de Paris. Disponible sur [http://marne.u707.jussieu.fr/biostatgv/?module=tests/student\\_appar](http://marne.u707.jussieu.fr/biostatgv/?module=tests/student_appar).
- *Tests de rang signés de Wilcoxon pour échantillons appariés*. Consulté le 3 mars 2015 depuis le site internet de l'Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique de Paris. Disponible sur <http://marne.u707.jussieu.fr/biostatgv/?module=tests/wilcoxon>
- Cometti G. (2004) *La détente et la pliométrie*. Consulté le 6 janvier 2015 depuis le site internet de la Faculté des Sciences du Sport de Dijon – Le Creusot. Disponible sur <http://expertise-performance.u-bourgogne.fr/pdf/Pliometrie.pdf>

## **7. Remerciements**

Je tiens à remercier particulièrement toutes les personnes qui ont bien voulu prendre part au programme de cinq semaines. Cet entraînement ayant été établi durant les vacances de Noël, ces sujets se sont montrés compréhensifs et pleins de bonne volonté, et je les en remercie sincèrement.

Je tiens également à remercier le secrétariat du collège de Gambach à Fribourg ainsi que M. Eric Schaffer de l'Université de Fribourg pour leur temps et leur aide concernant les installations sportives utilisées.

Je remercie aussi mes conseillers, à savoir M. Didier Staudenmann et M. Alain Rouvenaz, pour leur aide, leurs conseils et pour leur disponibilité.

Je remercie finalement ma compagne, ma famille, mes amis, et toutes les personnes proches pour leur soutien moral.

*« Je sous-signé certifie avoir réalisé le présent travail de façon autonome, sans aide illicite quelconque. Tout élément emprunté littéralement ou mutatis mutandis à des publications ou à des sources inconnues, a été rendu reconnaissable comme tel. »*

*Lieu, date : Fribourg, le 15 mai 2015*

*Signature : Stéphane Barilli*

*« Je sous-signé reconnais que le présent travail est une partie constituante de la formation en Sciences du Mouvement et du Sport à l'Université de Fribourg. Je m'engage donc à céder entièrement les droits d'auteur – y compris les droits de publication et autres droits liés à des fins commerciales ou bénévoles – à l'Université de Fribourg.*

*La cession à tiers des droits d'auteur par l'Université est soumise à l'accord du sous-signé uniquement.*

*Cet accord ne peut faire l'objet d'aucune rétribution financière. »*

*Date : le 15 mai 2015*

*Signature : Stéphane Barilli*